

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR**

**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**

**FACULTÉ DE TECHNOLOGIE**

**DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**

**SPÉCIALITÉ GÉNIE DES MATÉRIAUX**

**MEMOIRE DE FIN DE CYCLE**

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER**

PAR :

**ADJENNAD MOUSSA**

**Thème**

---

**EFFET D'UN TRAITEMENT THERMIQUE SUR LE COMPORTEMENT  
MICROSTRUCTURALE D'UN ACIER AU MANGANÈSE**

---

Soutenu le 03-07-2024 devant les jurys composé de :

Pr.	BRADAI Mohand Amokrane	Président
Pr.	SAD EDDINE Abdelhamid	Encadreur
Dr.	YOUNES Rassim	Examineur
Mr.	KHIMA Salim	Invité

**2023/2024**

# **Remerciement**

## Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu qui m'a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Mes vifs remerciements sont destinés à Pr SAD EDDINE. Mon promoteur et

Dr YOUNES Rassim et Mr KHIMA Salim, pour son aide, ses critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes, ainsi que pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant de soins à la réalisation de ce mémoire.

Je ne peux pas oublier de présenter ma gratitude à mes parents pour les efforts inlassables qu'ils ne cessent de déployer pour moi.

Je remercie également les membres du jury qui m'honorent en acceptant d'examiner et de juger mon travail.

Sans oublier l'équipe du hall technologie de l'université de Bejaia.

Enfin, un merci particulier à tous ceux qui m'ont apporté leur soutien.

# Dédicaces



# Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

Je dédie ce modeste travail à ma très chère mère qui m'a encouragé et veille à mon succès dans mes études.

Sans oublier le soutien indéfectible de mon père durant toutes mes années d'étude.

Mes Frères : Farid, Kamel.

Mes Amis : hafid, nadjib, rachid, zoubir, boussad, Salim, mobarek Pour Leur Encouragement Et Leurs Soutient Durant L'année 2023/2024.

A mon encadreur Pr SAD-EDDINE qui m'a transmis son savoir,

Guidé et encouragé ce travail.

A tous ceux qui nous sont chers. Que vous trouvez dans ce modeste

Travail l'expression de notre reconnaissance, amitié et estime.

# Sommaire

# Sommaire

---

## Sommaire

<b>Chapitre I : Eléments Bibliographiques</b>	
Introduction	01
I.1. Généralités sur les aciers	03
I.1.1.Les types d'aciers	03
I.1.1.1.Les aciers au carbone (ou aciers non-alliés)	03
I.1.1.2. Les aciers alliés	03
I.1.1.3.Les aciers inoxydables	03
I.1.1.4.Les aciers pour outils	04
I.1.2.Diagramme Fer-Carbone	04
I.1.2.1.Les différentes phases du système Fer-Carbone	05
I.1.3.Traitements thermiques des aciers	06
I.1.3.1. Généralités	06
I.1.3.2. Procédés des traitements thermiques	08
I.1.3.2.1. L'austénitisation	08
I.1.3.2.2. La trempe	08
I.1.3.2.3. Le revenu	10
I.2. Les aciers austénitiques au manganèse	10
I.2.1.Transformation austénitiques	10
I.2.2. Influence des éléments d'addition	11
I.2.2.1. Les éléments alphagènes	12
I.2.2.2. Les éléments gammagènes	13
I.3.L'acier Hadfield	14
I.3.1.Compositions chimiques	14
I.3.2. Microstructure de l'acier Hadfield	17
I.3.3.Domaine d'application de l'acier Hadfield	18



## Sommaire

---

I.4. Diagramme Fe-C-Mn	19
I.4.1. définition de traitement thermique d'hypertrempe	21
I.5.caractéristique fondamentales des aciers	21
I.6. Propriétés des matériaux	22
I.6.1.Propriétés physiques	22
I.6.2.Propriétés mécaniques	23
I.7. Transformations isothermes	23
I.7.1. Transformation martensitique	25
I.8. Variation de la grosseur du grain d'austénite en fonction de la température	27
Conclusion	27
<b>Chapitre II : Matériaux et techniques expérimentales</b>	
Introduction	28
II.1. Matériaux utilisés	28
II.1.1. la composition chimique du matériau utilisé	28
II.1.2. Elaboration des échantillons	28
II.2. Traitements thermiques	29
II.3. Le polissage	30
II.4. Méthodes de caractérisation	31
II.4.1.Analyse par diffraction des rayons X	31
II.4.2. Microscope optique	31
II.4.3. Essai de dureté (Rockwell)	32
II.4.4. Essai de résilience (Charpy)	33
<b>Chapitre III : résultats et discussion</b>	
Introduction	35
III.1. Caractérisation par diffraction des rayons X d'un acier au manganèse 12 %	35
III.1.1. analyse structurale par diffraction X	35

## Sommaire

---

III.1.2. Quantification des phases par diffraction X	37
III.2. Caractérisation Microstructural d'un acier au manganèse 12% obtenu par microscope optique	40
III.3. Influence de la microstructure de l'acier au manganèse 12 % sur le comportement mécanique.	41
III.3.1. Micro dureté Vickers.	41
III.3.2. Essai de résilience	42
Conclusion	43

# Liste des figures



# Liste des figures

Figure	Titre	Page
	<b>Chapitre I</b>	
<b>Figure I.1</b>	Diagramme de phase fer-carbone.	<b>05</b>
<b>Figure I.2</b>	Différents cycles d'un traitement thermique	<b>07</b>
<b>Figure I.3</b>	Domaine de températures d'austénitisation et d'autres traitements thermiques des aciers au carbone	<b>11</b>
<b>Figure I.4</b>	Domaine de composition optimale selon les équations (I.1) et (I.2) des aciers Hadfield	<b>17</b>
<b>Figure I.5</b>	Diagramme Fe-C-Mn	<b>20</b>
<b>Figure I.6</b>	Influence des éléments gammagène et alphagène sur le diagramme d'équilibre des alliages binaires Fe-C (Fe 3 C)	<b>22</b>
<b>Figure I.7</b>	le diagramme TTT	<b>24</b>
<b>Figure I.8</b>	l'influence de la vitesse de refroidissement sur les différentes transformations de l'austénite	<b>26</b>
	<b>Chapitre II</b>	
<b>Figure II.1</b>	Macro Scie disponible au niveau du hall de technologie du département génie mécanique.	<b>29</b>
<b>Figure II.2</b>	Four électrique disponible au laboratoire Fonderie du département génie mécanique au niveau du hall de technologie.	<b>30</b>
<b>Figure II.3</b>	Appareille de polissage	<b>30</b>
<b>Figure II.4</b>	Principe d'une diffraction des RX	<b>31</b>
<b>Figure II.5</b>	microscope optique	<b>32</b>
<b>Figure II.6</b>	Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell.	<b>33</b>

## Liste des figures

---

<b>Figure II.7</b>	Pendule de Charpy	<b>34</b>
	<b>Chapitre III</b>	
<b>Figure III.1</b>	Spectres de diffraction X des différents échantillons, à une température 1050°C.	<b>35</b>
<b>FigureIII.2</b>	Spectres de diffraction X des différents échantillons à 1050°C suivi d'un revenu à 400°C	<b>36</b>
<b>Figure III.3</b>	diagrammes circulaires illustrant la composition de phases d'un alliage après un traitement thermique à 1050°C	<b>38</b>
<b>Figure III.4</b>	diagramme circulaire comparant la composition de phases d'un alliage Après un traitement thermique à 1050°C suivi d'un revenu à 400°C.	<b>39</b>
<b>Figure III.5</b>	Microstructures des différents échantillons traités à 1050°C A) refroidis à l'eau et B) refroidis à l'eau glacée.	<b>40</b>
<b>Figure III.6</b>	Microstructures des différents échantillons traités à 1050°C suivi d'un revenu à 400°C, C) 1050°C trempe a l'eau Glacée revenu 400°C et D) 1050°C trempe a l'eau revenu 400°C	<b>40</b>
<b>Figure III.7</b>	microdureté des différents échantillons	<b>41</b>
<b>Figure III.8</b>	La résilience des différents échantillons	<b>42</b>

# Liste des tableaux





# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b>	Constituants métallographiques d'équilibre	<b>06</b>
<b>Tableau I.2</b>	Composition chimique de l'acier Hadfield	<b>15</b>
<b>Tableau I.3</b>	Domaine d'utilisation des aciers au manganèse	<b>19</b>
<b>Tableau I.4</b>	Propriétés physiques de l'acier Hadfield	<b>22</b>
<b>Tableau II.1</b>	Composition chimique de l'acier	<b>28</b>

# **Introduction générale**



## Introduction générale

L'ingénierie des matériaux joue un rôle crucial dans le développement et l'optimisation des propriétés des matériaux pour répondre aux exigences de diverses applications industrielles. Dans ce contexte, l'acier au manganèse se distingue par ses caractéristiques mécaniques et microstructurales remarquables, le prédisposant à des applications variées dans des domaines tels que la construction, l'automobile et l'industrie ferroviaire. Parmi les différentes techniques de traitement thermique, le revenu émerge comme une étape essentielle pour ajuster les propriétés mécaniques et la microstructure de l'acier au manganèse, afin d'optimiser sa performance dans des conditions spécifiques d'utilisation. Cette étude vise à analyser l'impact des traitements de revenu sur les propriétés mécaniques et microstructurales de l'acier au manganèse. En examinant de près les changements induits par ces traitements, nous chercherons à comprendre comment les variations de température, de temps de maintien et de méthodes de refroidissement influent sur les caractéristiques essentielles de l'acier, telles que la dureté, la résilience et la structure cristalline. Une analyse approfondie de ces paramètres permettra de dégager des recommandations pratiques pour l'optimisation des traitements de revenu afin de maximiser les performances de l'acier au manganèse dans des applications industrielles spécifiques.

L'objectif fondamental de cette étude réside dans le traitement méticuleux d'aciers spécifiques par le biais de procédés thermiques et mécaniques visant à adapter leurs propriétés pour une gamme diversifiée d'applications industrielles. Cette recherche s'est ainsi attelée à une caractérisation microstructurale détaillée de ces aciers, suivie d'une analyse approfondie de l'impact des traitements thermiques et mécaniques sur leurs propriétés intrinsèques. Plus précisément, des traitements d'austénitisation ont été conduits sur quatre échantillons à une température précise de 1050 °C, mettant en lumière les nuances essentielles liées aux températures d'austénitisation, aux durées de maintien dans le four, et aux dimensions des pièces sur la solubilité des carbures.

La structure de ce mémoire est rigoureusement planifiée pour une compréhension approfondie du sujet :

- Le premier chapitre introduit des éléments généraux sur les concasseurs, tout en offrant un rappel théorique éclairant sur les propriétés des aciers.

## **Introduction générale**

---

- Le deuxième chapitre se concentre principalement sur l'analyse de l'impact des différents traitements thermiques et des diverses transformations de phase associées.
- Le troisième chapitre expose une série d'études expérimentales ainsi que les essais et tests pertinents réalisés dans le cadre de cette recherche.
- Le quatrième chapitre présente avec précision les résultats obtenus et leurs implications, soumettant ainsi ces découvertes à une discussion approfondie. Enfin, cette étude conclura par une synthèse générale, avant d'envisager des perspectives futures pour la recherche dans ce domaine spécifique.

# **Chapitre I : Eléments Bibliographiques**



## **Introduction**

L'acier est un mélange métallique, est principalement constitué de fer et de carbone, avec une proportion de carbone variant entre 0,02 % et 2 % en masse. En plus, il contient divers autres éléments comme le manganèse, le chrome, le soufre, etc. Il existe une multitude d'alliages d'acier, chacun ayant une composition unique ainsi que des traitements spécifiques [1].

## **I.1. Généralités sur les aciers**

### **I.1.1. Les types d'aciers**

#### **I.1.1.1. Les aciers au carbone (ou aciers non-alliés)**

Ce sont des alliages contenant une teneur en carbone inférieure à 2%, avec une limite pratique généralement comprise entre 1,4 et 1,5%, et dans lesquels les concentrations des autres éléments sont maintenues en dessous des limites définies par la norme NF A 02-005 [2].

Exemple: acier en carbone, S235JR, E24, XC10, XC35.

#### **I.1.1.2. Les aciers alliés**

On distingue deux grandes catégories d'aciers alliés [3]:

- **Aciers faiblement alliés** : Ce sont des aciers dans lesquels aucun élément d'addition n'atteint la teneur de 5%.
- **Aciers fortement alliés** : Dans ces aciers, au moins un élément d'addition atteint la teneur supérieure ou égale à 5%.

#### **I.1.1.3. Les aciers inoxydables**

Les aciers inoxydables sont des aciers qui présentent une résistance à la corrosion atmosphérique et à la corrosion électrochimique. Ils contiennent au minimum 10,5 % de chrome et au maximum 1,2 % de carbone (pour prévenir la formation de carbures de chrome). Bien que d'autres éléments tels que le molybdène, le cuivre, le silicium, le titane, le niobium, etc., soient parfois ajoutés pour améliorer leur résistance à la corrosion ou leurs propriétés mécaniques, les caractéristiques fondamentales des aciers inoxydables sont étroitement liées à



la compréhension des diagrammes de phases et des diagrammes TRC des alliages ternaires Fe-C-Cr et quaternaires Fe-C-Cr-Ni [4].

#### **I.1.1.4. Les aciers pour outils**

Ce sont des types d'acier spécialement conçus pour la fabrication d'outils mécaniques tels que les mèches, les outils de coupe, les cisailles, les marteaux, les burins, etc. Leurs caractéristiques d'utilisation sont similaires à celles des aciers alliés, mais elles nécessitent l'amélioration de plusieurs propriétés spécifiques : la dureté, la capacité à être trempé, la résistance à la chaleur, la ténacité, la résistance et la capacité à résister aux chocs thermiques [3].

#### **I.1.2. Diagramme Fer-Carbone**

Le diagramme fer-carbone est d'une importance capitale parmi tous les systèmes d'alliages binaires. Les matériaux structuraux fondamentaux dans les sociétés technologiquement avancées sont les aciers et les fontes, qui sont des alliages de fer et de carbone. Cette section se concentre sur l'étude du diagramme des microstructures d'équilibre possibles.

Le diagramme présenté dans la figure I.1 illustre les températures cruciales pour les aciers et les fontes. Il revêt une grande importance dans les opérations de production, de soudage, de formage et de traitement thermique de ces matériaux. Une compréhension approfondie de chaque phase et de chaque domaine du diagramme est nécessaire avant toute utilisation [5].

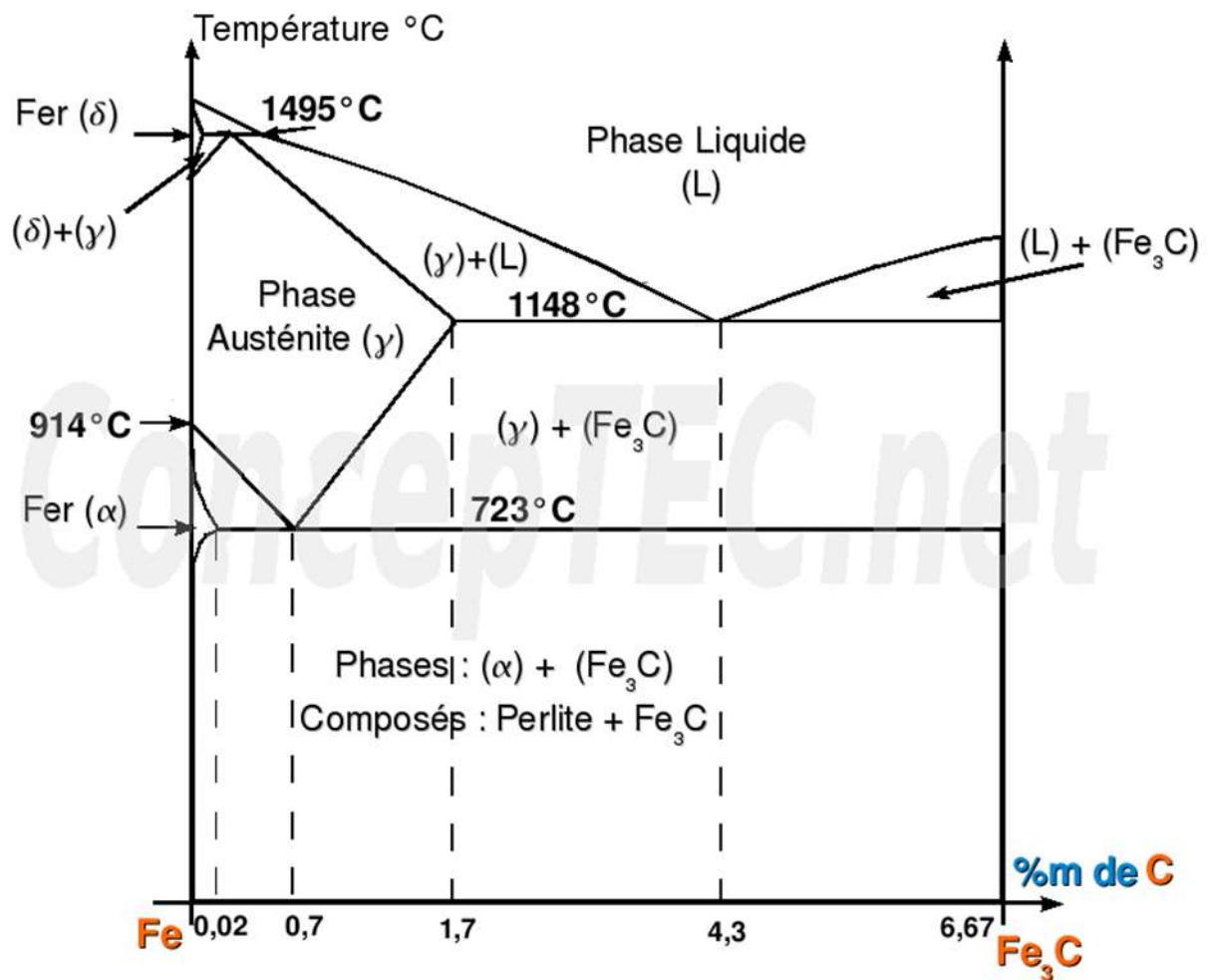






Figure I.1 : Diagramme de phase fer-carbone.

### I.1.2.1. Les différentes phases du système Fer-Carbone

#### ➤ Austénite

Solution solide cfc de carbone dans le fer gamma malléabilité.



<p>➤ <b>Ferrite</b></p> <p>Solution solide cc de carbone dans du fer alpha. Faible ténacité et peut dur</p>	
<p>➤ <b>Perlite</b></p> <p>Composé de 88% de ferrite et 12% Cémentite représentant le mélange eutectoïde</p>	
<p>➤ <b>Cémentite</b></p> <p>Composé défini Fe<sub>3</sub>C. Carbure de fer à structure cristalline orthorhombique. Très dur et fragile</p>	
<p>➤ <b>Ferrite + perlite</b></p> <p>Mélange caractéristique des aciers hypoeutectoïdes. Proportions variables selon la teneur en carbone. Les grains de ferrite germent le long des joints de grains de l'austénite au refroidissement à la traversée du domaine <math>\alpha + \gamma</math>.</p>	
<p>➤ <b>Perlite + cémentite</b></p> <p>Mélange caractéristique des aciers hypereutectoïdes. Proportions variables selon la teneur en carbone, mais n'excédant jamais 20 % de cémentite dans les aciers. Le réseau de cémentite se forme le long des joints de grains de l'austénite au refroidissement à la traversée du domaine <math>\gamma + \text{Fe}_3\text{C}</math>.</p>	

**Tableau I.1.** Constituants métallographiques d'équilibre [6].

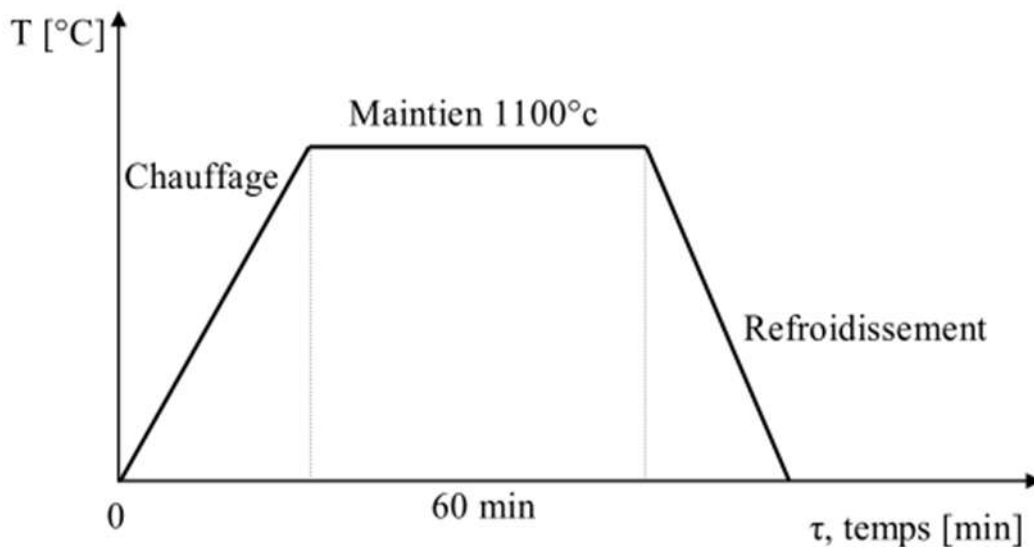
### I.1.3. Traitements thermiques des aciers

**I.1.3.1. Généralités**

La structure micrographique des aciers est intrinsèquement liée aux processus de fabrication et doit être adaptée aux conditions d'utilisation, telles que le moulage, le laminage, etc. Elle peut être significativement altérée par les traitements thermiques. Ces modifications structurelles, résultant des traitements thermiques, permettent de conférer au matériau des propriétés spécifiques adaptées à son utilisation finale en tant que pièce finie ou en tant que semi-produit. Par conséquent, le choix d'un traitement thermique soulève souvent diverses considérations contradictoires. Les options sont multiples et le choix du traitement thermique pour une gamme de production donnée revêt une importance cruciale.

Certaines propriétés peuvent être directement liées à la structure micrographique, mais la complexité de nombreuses autres propriétés est exacerbée par les variations possibles en fonction de paramètres physiques tels que la température ou le temps, qui sont à la base des traitements thermiques et influencent considérablement l'évolution des structures micrographiques. L'évolution du comportement à l'échelle micrographique ou cristalline en fonction de la température permet d'expliquer le rôle des traitements thermiques sur certaines propriétés, ce qui nécessite des conditions d'utilisation spécifiques pour certains alliages.

Les traitements thermiques consistent en un ensemble d'opérations incluant le chauffage, le maintien à une température donnée et le refroidissement appliqués à des alliages métalliques à l'état solide. En considérant l'ensemble des aciers de toutes sortes, on constate que les différents traitements thermiques qui leur sont éventuellement appliqués reposent sur des principes métallurgiques communs. Ces traitements sont essentiels pour stabiliser les dimensions des moulages et pour uniformiser les structures. Ils sont également nécessaires pour améliorer les propriétés d'utilisation des pièces soumises à des contraintes mécaniques importantes ou à des conditions d'utilisation spéciales.



**Figure I.2** : Différents cycles d'un traitement thermique [7].

Les traitements thermiques agissent sur la matrice en altérant la nature de ses composants, et parfois en remodelant profondément sa structure. De même, les aciers alliés à structure austénitique requièrent souvent un traitement thermique spécifique pour obtenir une matrice désirée. Les différents résultats pratiques pouvant être atteints par les traitements thermiques de la matrice des aciers incluent :

- Réduction des contraintes internes
- Amélioration de l'usinabilité
- Obtention d'une bonne ténacité
- Renforcement des caractéristiques mécaniques
- Augmentation de la résistance à l'usure

Pour éliminer les contraintes internes pouvant résulter du dessin des pièces, de variations excessives de section, de l'absence de congés de raccordement, de conditions de coulée défavorables, d'une composition chimique inadéquate ou d'un traitement thermique mal exécuté, un revenu de détente est nécessaire, car ces contraintes pourraient entraîner des ruptures en service [8] .

### **I.1.3.2. Procédés des traitements thermiques**

### **I.1.3.2.1. L'austénitisation**

Pour obtenir l'austénitisation, il est nécessaire de chauffer préalablement l'acier, puis de le maintenir dans son domaine austénitique à une température d'environ 30 à 50 °C pendant environ 30 minutes. Pendant cette période, la structure de l'acier évolue en transformant les éléments microstructuraux ferritiques  $\alpha$  (cubique centrée) en austénite  $\gamma$  (cubique à faces centrées), tout en isolant la cémentite et les carbures dans l'austénite [5].

### **I.1.3.2.2. La trempe**

La trempe consiste à refroidir rapidement un acier austénitique afin d'obtenir la plus grande dureté possible, en favorisant la formation de martensite ou de perlite fine. La température de trempe, également appelée température d'austénitisation, se situe dans le domaine austénitique du diagramme fer-carbone et varie en fonction de la teneur en carbone de l'acier [9].

Il existe trois types de trempe :

#### **➤ La trempe à l'eau**

Dans les applications courantes, la trempe à l'eau est généralement privilégiée car elle représente le moyen de refroidissement le plus économique. La vitesse de refroidissement de l'eau n'est pas uniforme, mais elle offre plusieurs avantages : elle éclate la calamine au début du processus de refroidissement, nettoyant ainsi la surface et améliorant l'échange thermique. De plus, l'eau peut facilement former des bulles de vapeur qui peuvent ralentir localement le refroidissement du métal, créant ainsi des zones moins dures, en fonction de la géométrie de la pièce. Cependant, le pouvoir de refroidissement de l'eau diminue considérablement (prolongeant ainsi la période de caléfaction) lorsque sa température augmente.

Pour réaliser une trempe à l'eau efficace, un contrôle constant est nécessaire :

- La température de l'eau,
- L'agitation de la pièce,
- La circulation de l'eau et son renouvellement éventuel.

Il est essentiel d'éviter toute contamination de l'eau par des substances étrangères (comme les sels), car cela pourrait altérer son efficacité de trempe et compromettre l'obtention de résultats uniformes [10].

### ➤ La trempe à l'huile

Lors d'une trempe à l'huile, la vitesse de refroidissement varie, atteignant son maximum lorsque la température de surface de la pièce reste relativement élevée, généralement entre 400 et 600 °C, selon les caractéristiques spécifiques de l'huile utilisée. La viscosité de l'huile diminue à mesure que sa température augmente.

Les huiles de trempe peuvent différer en :

- Leur base (minérale ou synthétique),
- Les additifs qu'elles contiennent, ces additifs visent soit à modifier le pouvoir de refroidissement, soit à améliorer certaines propriétés telles que la résistance à l'oxydation [10].

### ➤ La trempe à l'air

Il s'agit de la méthode la plus simple à mettre en œuvre, mais elle comporte des risques de déformations plus importants et plus rapides. Le choix du milieu de trempe dépend principalement de la trempabilité de l'acier. Pour les aciers au carbone, la trempe est généralement effectuée dans de l'eau dont la température varie entre 20 et 40 °C. Ajouter environ 10% de chlorure de sodium à l'eau permet d'obtenir une trempe plus efficace [10].

### **I.1.3.2.3. Le revenu**

Après la trempe, l'acier acquiert une dureté accrue mais devient également trop fragile pour être utilisé directement. Ainsi, l'utilisation du revenu est nécessaire. Ce processus implique le chauffage de la pièce récemment trempée à une température inférieure au point de transformation, suivie d'un refroidissement généralement à l'air, parfois à l'eau. L'objectif du revenu est d'éliminer les contraintes résiduelles induites par la trempe et d'améliorer la ténacité de l'acier [11].

## **I.2. Les aciers austénitiques au manganèse**

### **I.2.1. Transformation austénitiques**

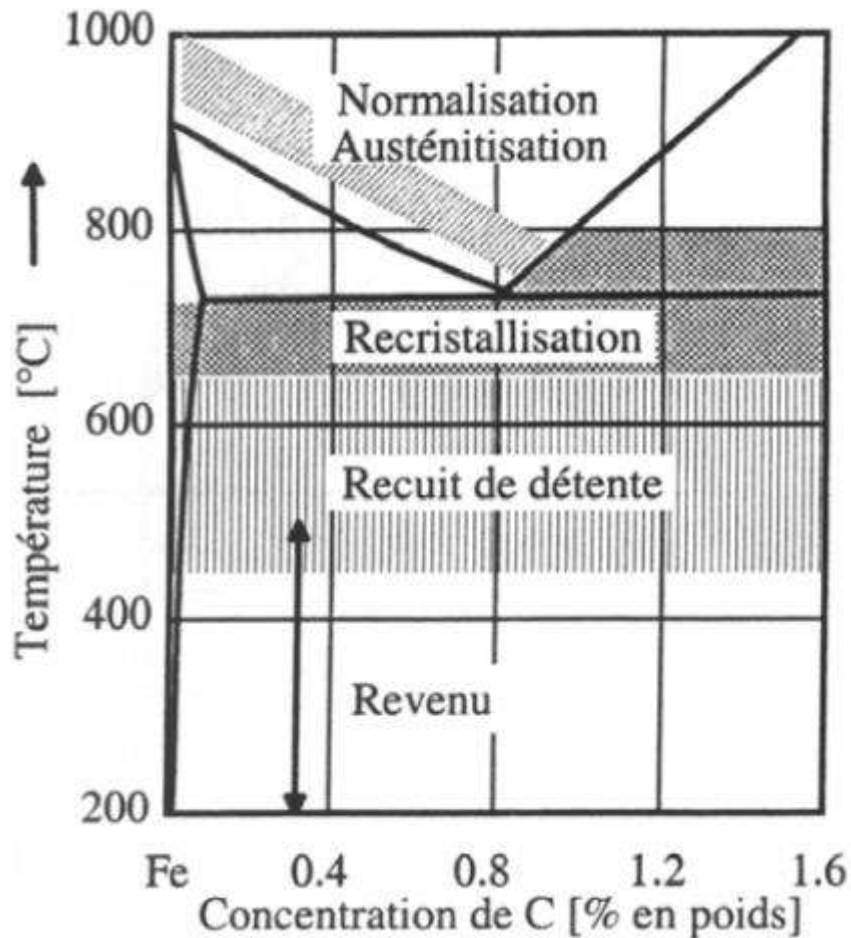
L'austénitisation implique initialement le chauffage de l'acier, suivi d'une période de maintien à une température d'au moins quelques degrés (30-50°C) au-dessus de son point de transformation, généralement pendant environ 30 minutes. Pendant ce processus, la structure

de l'acier se stabilise en convertissant les phases microstructurales ferriques ( $\alpha$ , CC) en austénite ( $\gamma$ , CFC), tout en dissolvant la cémentite et les carbures présents dans l'austénite.

Pour pouvoir soumettre un acier à un traitement thermique, il est essentiel de pouvoir l'austénitiser. Les paramètres clés de l'austénitisation sont les suivants :

- La température d'austénitisation,  $\theta_a$ . Pour les aciers hypoeutectoïdes,  $\theta_a$  est généralement définie comme étant  $Ac_3$  plus  $30^\circ C$  à  $50^\circ C$ .
- La durée d'austénitisation,  $T_a$ , qui varie en fonction de la taille de la pièce. À la fin de cette période, l'état austénitisé se caractérise par :
  - ✓ La composition chimique moyenne de l'austénite, où  $T_a$  influence l'homogénéité de l'austénite, pouvant entraîner l'apparition de ségrégations.
  - ✓ La taille du grain austénitique,  $G_a$ , qui dépend de plusieurs facteurs tels que la température de chauffage, la durée du maintien à cette température et la capacité de l'acier à développer le grain pendant le réchauffement. Cette taille de grain est mesurée par l'indice  $G$ , où  $m$  représente le nombre de grains par  $mm^2$  de surface d'échantillon, selon la relation  $m=8 \times 10^4 G^2$  [1].





**Figure I.3 :** Domaine de températures d'austénitisation et d'autres traitements thermiques des aciers au carbone [1].

## I.2.2. Influence des éléments d'addition

Les éléments d'addition se répartissent en deux catégories distinctes : les éléments alphagènes (tels que le silicium, l'aluminium, le chrome, le molybdène, le tungstène, le titane et le niobium) et les éléments gammagènes (comme le nickel, le manganèse, l'azote, le carbone, le cuivre et le cobalt). Certains de ces éléments exercent des influences plus significatives que d'autres, notamment l'azote et le carbone, dont l'effet gammagène est environ trente fois plus intense que celui du nickel [12].

### 1.2.2.1. Les éléments alphagènes

#### ➤ Le chrome (Cr)

Est un élément fondamental présent dans tous les aciers inoxydables, fournissant une résistance à la corrosion en formant un film passif lorsqu'il se combine avec l'oxygène. Il augmente également la résistance à la corrosion (à l'exception des environnements sulfuriques) et la résistance à l'oxydation à chaud.

Lorsqu'il est associé au molybdène et au nickel, il confère de bonnes propriétés mécaniques à des températures pouvant atteindre 500°C [12].

➤ **Le molybdène (Mo)**

Est un élément alphagène dont l'ajout, même en petites quantités, améliore la qualité du film passif, surtout dans des milieux chlorés et acides, à l'exception des solutions nitriques bouillantes.

Le molybdène augmente la résistance au fluage des aciers au chrome et diminue leur fragilité après revenu. Il améliore considérablement la résistance à la corrosion intergranulaire et par piqûre, mais il rend l'acier plus sensible à la décarburation et au phénomène d'oxydation lors de maintiens à des températures entre 1000 et 1100°C. De plus, il accroît la résistance mécanique à chaud.

➤ **Le silicium (Si)**

Est également un élément alphagène, contribuant à accroître la résistance à la corrosion et améliorant les propriétés d'utilisation à haute température. Il confère ainsi une bonne résistance à l'oxydation à chaud, notamment en présence d'acide nitrique, bien qu'il puisse réduire la résistance à la fissuration lors du soudage [12].

➤ **Le vanadium (V)**

Est un stabilisateur efficace de la ferrite. En association avec le nickel, il renforce la résistance mécanique des matériaux.

➤ **Le titane (Ti)**

Doit être utilisé à une concentration excédant quatre fois celle du carbone présent. Son utilisation permet de prévenir toute altération des structures métallurgiques lors des opérations à chaud, particulièrement lors des travaux de soudure [12].

➤ **Le niobium (Nb)**

Est un élément alphagène qui se lie avec le carbone dans les aciers inoxydables, formant ainsi des carbures qui résistent à la corrosion intergranulaire.

### 1.2.2.2. Les éléments gammagènes

#### ➤ Le nickel (Ni)

Une concentration excédant 6% à 8% confère à l'acier un effet gammagène, le rendant austénitique à toutes températures. Cette présence élargit la plage de stabilité de l'austénite, favorisant ainsi la mise en forme par déformation plastique. De plus, le nickel améliore la résistance à la corrosion, notamment face à la corrosion sous contrainte, affine la taille des grains, et augmente la ductilité. Il exerce également une influence positive sur la trempabilité, la résistance aux chocs, et la ténacité des matériaux [12].

#### ➤ Le manganèse (Mn)

Bien que catégorisé comme un élément gammagène, le manganèse joue un rôle alphagène lorsque sa concentration dépasse les 7%. Cette présence rend la transformation de l'austénite en martensite plus ardue dans les aciers Cr-Ni et sous contrainte mécanique à basse température.

#### ➤ Le carbone (C)

Est utilisé pour stabiliser la structure austénitique et pour améliorer les propriétés mécaniques de l'acier, telles que la dureté, la résistance à la traction et la résistance au fluage, notamment lors des traitements thermiques. Cependant, le carbone peut avoir un effet néfaste sur la résistance à la corrosion en favorisant la précipitation de carbures de chrome lorsque sa concentration dépasse 0,030 %. Cela peut entraîner une corrosion intergranulaire. Pour remédier à ce problème, le développement de nuances d'aciers inoxydables à très faible teneur en carbone (inférieure à 0,03 %) a été encouragé.

#### ➤ L'azote (N)

Utilisé en tant que stabilisateur d'austénite, associé à une faible teneur en carbone, permet d'atteindre des limites d'élasticité élevées sans compromettre la résistance à la corrosion intergranulaire. Il exerce une influence positive sur la résistance à la corrosion par piqûres et par crevasse en favorisant la précipitation du nitrure de chrome  $\text{Cr}_2\text{N}$ , qui est moins riche en chrome que  $\text{Cr}_{23}\text{O}_6$ , réduisant ainsi l'appauvrissement en chrome aux abords des joints de

grains. De plus, l'azote accroît la résistance à la traction mais diminue la ductilité des aciers inoxydables austénitiques [12].

➤ **Le soufre (S)**

Présent à des concentrations d'environ 0,2 %, améliore considérablement l'usinabilité des aciers inoxydables lors des opérations de tournage, de fraisage, de perçage, etc. Cependant, cette amélioration de l'usinabilité se fait au détriment de la résistance à la corrosion par piqûres.

➤ **Le cuivre (Cu)**

Est ajouté à certains aciers austénitiques dans des situations spécifiques afin d'améliorer leur résistance à la corrosion ou de renforcer leur capacité à être formés à froid. De plus, le cuivre contribue à combattre la corrosion bactérienne. Par ailleurs, il améliore également l'usinabilité des aciers inoxydables austénitiques [13].

### **I.3.L'acier Hadfield**

C'est un matériau réputé pour sa haute dureté en utilisation et son taux élevé d'écrouissage. Depuis un siècle, il est largement employé en raison de ses excellentes propriétés de résistance à l'usure. Grâce à ces caractéristiques, cet acier est fréquemment utilisé dans diverses applications industrielles telles que les marteaux d'impact, les mâchoires de broyeur, les bandes de roulement de chenille, ainsi que les rails et les aiguillages ferroviaires [14].

#### **I.3.1.Compositions chimiques**

Le manganèse et le carbone jouent un rôle crucial dans la composition d'un acier austénitique au manganèse, comme indiqué dans le tableau chimique fourni. Ces éléments favorisent la formation de la phase austénitique cubique à face centrée (CFC), également appelée phase gamma, par un processus d'hypertrempe à partir de la phase austénitique à haute température. Le carbone, en particulier, exerce une influence significative sur les propriétés de l'austénite, notamment sa résistance et sa limite élastique. Une augmentation de la teneur en carbone accroît la stabilité de l'austénite, mais au-delà de 1,2%, cela peut entraîner une diminution de la ductilité globale de l'alliage en raison de la formation de précipités qui ne peuvent pas être complètement dissous. En revanche, la teneur en manganèse n'a pas un impact majeur sur la limite élastique, mais elle contribue à augmenter la résistance et la ductilité de l'acier. Pour

obtenir une bonne ténacité et ductilité de l'austénite, il est recommandé d'avoir une teneur en manganèse supérieure à 10% [15].

D'autres éléments d'alliage peuvent être ajoutés pour diverses raisons :

- Pour durcir la solution solide gamma par précipitation.
- Pour améliorer la résistance à l'usure.
- Pour accroître la stabilité de l'austénite et retarder sa décomposition pendant la déformation plastique ou en cas de baisse de température.

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Al</b>	<b>Cu</b>
0,95-1,3	0,65	11,5-14	0,5	0,03	0,5	0,75	1,75	0,045	0,3

**Tableau I.2 :** Composition chimique de l'acier Hadfield.

Ces aciers ne sont pas caractérisés par une grande dureté, mais ils présentent une capacité remarquable à se déformer sous de faibles contraintes plastiques. Par conséquent, ils offrent une excellente résistance au frottement et, correctement traités, sont très peu sujets à la fragilité. Leur grande aptitude à la déformation les rend difficiles à usiner et ils ne peuvent être façonnés que par moulage et rectification. Après la coulée, ils sont composés d'austénite et de carbures, qui précipitent aux joints de grains, altérant ainsi la résistance et la ductilité [15].

Les aciers austénitiques enrichis en manganèse trouvent leur application dans la production de pièces confrontées à des environnements abrasifs, comme les rails ferroviaires, les godets d'excavateur ou les mâchoires de concasseur. Parmi eux, l'acier Hadfield, connu sous la désignation X120Mn12, occupe une place prépondérante. [15]

Tofaute et Linden ont démontré que l'acier Hadfield peut adopter une structure austénitique à température ambiante lorsque l'indice Mneq, calculé à partir des concentrations en Mn et en C, atteint un certain seuil :

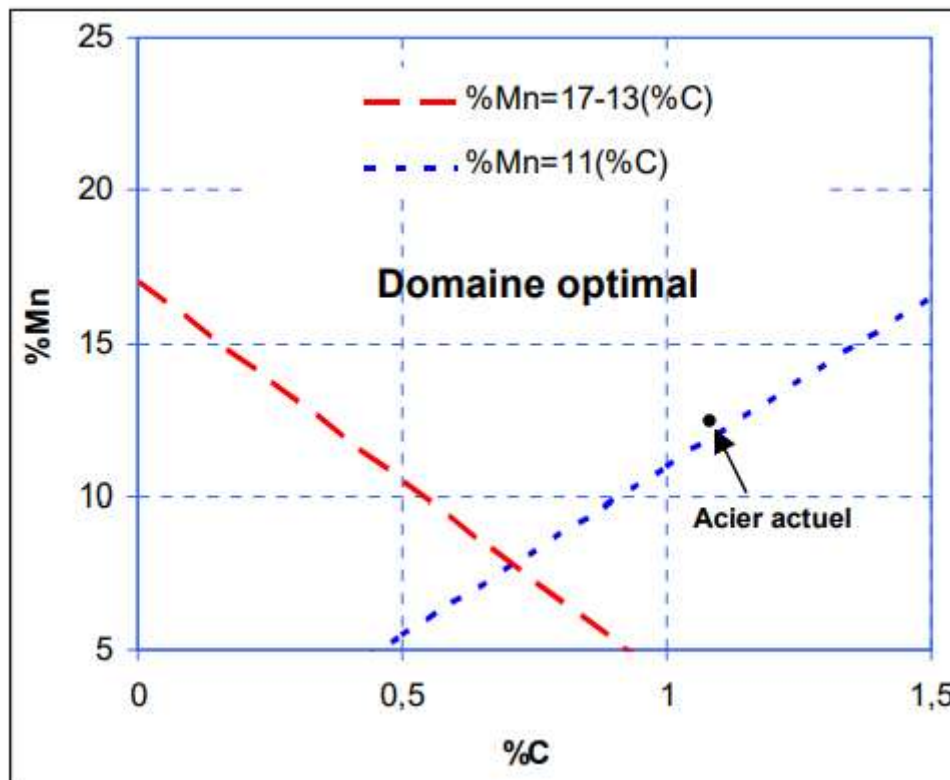
$$Mneq = (\%Mn) + 13(\%C) \geq 17 \quad (1-1) [16]$$

Les caractéristiques mécaniques sont étroitement liées à la composition chimique. Dans ce cas d'acier, un rapport Mn/C dépassant 11 est requis, sinon des carbures se forment dans les joints de grains et à l'intérieur de ces derniers.

Le métal est alors plus résistant avant écrouissage mais aussi plus fragile. Cette condition s'écrit :

$$\text{Mn} \geq 11 (\% \text{C}) \quad (1-2)$$

Les équations (1-1) et (1-2) délimitent une plage optimale de composition chimique pour les aciers Hadfield. Il est remarquable que l'acier actuellement utilisé dans les boulets de broyage se situe à la limite définie par l'équation (1-1). Cela explique pourquoi un traitement thermique d'hypertrempe est indispensable, peu importe la vitesse de refroidissement de l'alliage lors de sa fabrication, car des carbures commencent à se former dès que la concentration en carbone atteint 1%. [15].



**Figure I.4 :** Domaine de composition optimale selon les équations (I.1) et (I.2) des aciers Hadfield [17].

### 1.3.2. Microstructure de l'acier Hadfield

À l'état brut de coulée, la structure microscopique de l'acier Hadfield est constituée d'une matrice austénitique dans laquelle des carbures sont dispersés. Ces carbures se forment lors du

refroidissement final et sont généralement localisés aux interfaces des grains austénitiques. Pour garantir une bonne ténacité, il est essentiel que cette structure soit suffisamment austénitique. Par conséquent, plusieurs traitements thermiques doivent être appliqués pour favoriser la formation d'une structure entièrement austénitique [18].

### I.3.3. Domaine d'application de l'acier Hadfield.

NUANCES F.A.R	Caractéristiques technologiques	Dureté	Types de pièces Conseillés
		En service HV.	
Mn 12	Acier pour grosses pièces d'épaisseur supérieure à 150 mm soumises à chocs violents et pour pièces qui exigent une ténacité élevée.	500	Marteaux de broyeurs A ferrailles Grosses mâchoires
Mn Cr 12.2	Acier pour toutes pièces d'emploi Normal	600	-Mâchoires -Marteaux -Cônes et Mâchoires pour concasseurs giratoires -Rouleaux -Ecrans de chocs.
MnX50	Acier de nouvelle conception, résultat des laboratoires de recherche, développement et expérimentation FAR. Les meilleures qualités	700	-Marteaux -Plans de chocs

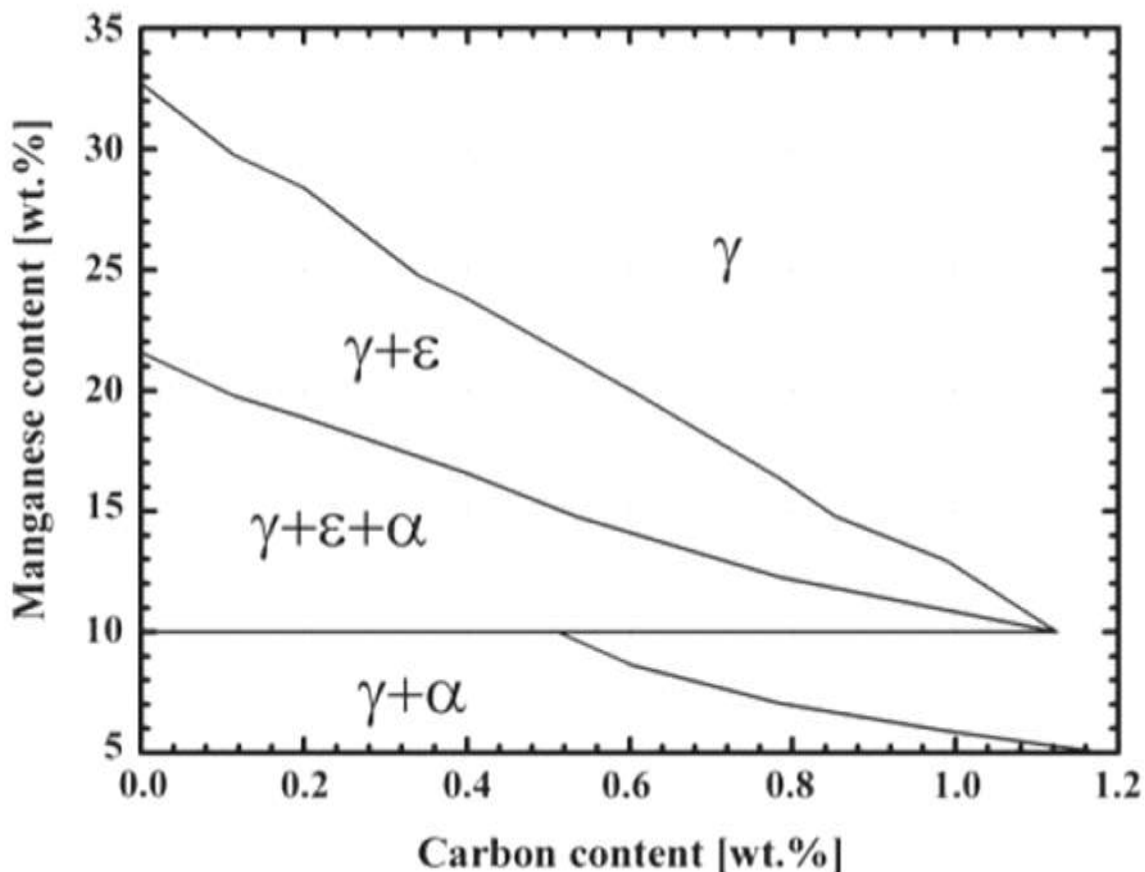
	anti usure, écrouissage et résistance aux impacts et/ou déformations des manganèses communs, résumées et optimisées dans un matériel inique et universel avec grande performance dans les plus variées applications.		-Mâchoires -Cônes giratoires -Manteaux -Ecrans de choc -etc.
Mn Mo 6.1 700	Acier qui obtient les plus hautes valeurs de dureté superficielle par écrouissage dans les emplois à faible énergie de chocs. Indiqué pour le broyage de matériau friable et de petite taille.	700	Cônes et Mâchoires pour concasseurs giratoires secondaires et tertiaires. Mâchoires et marteaux pour emplois particuliers.
Mn Cr 18.2	Acier qui a de très bonne caractéristique anti usure et de résistance aux déformations	600	-Percuteurs primaires et Secondaires - Mâchoires - Cônes.
Mn Cr 20.3	Acier qui a d'excellentes qualités anti-usure pour emplois spécifiques et une résistance maximale contre l'usure par rayonnage. Il associe des propriétés mécaniques élevées à une durée maximale.	600	Marteaux pour installations de recyclage. Cônes et Mâchoires pour concasseurs giratoires. Pièces soumises à usure par abrasion et rayage.
Mn Ni 12.2	Acier austénitique as-cast pour pièces de petite épaisseur et peu soumises à chocs.	600	Plaques de blindage.

**Tableau I.3 :** Domaine d'utilisation des aciers au manganèse [19].

#### **I.4. Diagramme Fe-C-Mn**



La microstructure à haute température de l'alliage Fe-Mn est principalement influencée par la proportion relative de manganèse, un élément favorisant la phase  $\gamma$  qui élargit la plage austénitique  $\gamma$ . Les autres éléments présents dans l'alliage peuvent être classés comme favorisant la phase  $\alpha$  ou la phase  $\gamma$ . Les éléments favorisant la phase  $\gamma$  incluent le nickel, le carbone, le cuivre et l'azote, en plus du manganèse. Quant aux éléments favorisant la phase  $\alpha$ , le chrome, le silicium, le molybdène, le niobium, le titane et le tungstène sont reconnus comme des éléments favorisant la carburation.



**Figure I.5 :** Diagramme Fe-C-Mn [20].

Ces aciers sont principalement constitués d'austénite métastable. En effet, comme le montre la figure, il est nécessaire d'effectuer un refroidissement rapide pour obtenir 100 % d'austénite à température ambiante. En cas de refroidissement plus lent, la structure peut être composée de cémentite-ferrite-austénite ou de cémentite-ferrite, selon la stabilité déterminée par la composition chimique de l'alliage et sa teneur en carbone. Avec un écrouissage suffisant ou une baisse de température, une partie de l'austénite peut se transformer en martensite  $\alpha$ . Cette transformation en martensite  $\alpha$ , qui a une structure cubique à faces centrées, se produit généralement après la formation préalable de martensite  $\epsilon$ , ayant une structure hexagonale

compacte et n'étant pas ferromagnétique comme la martensite  $\alpha$ . Après un traitement thermique d'hypertrempe à température ambiante, les aciers Hadfield présentent une structure austénitique cubique à faces centrées. Ce traitement thermique permet d'obtenir une structure austénitique propre, sans précipités, en dissolvant les éléments favorisant la carburation et en évitant la formation de carbures aux joints de grains, ce qui pourrait entraîner une fragilisation de la pièce [5].

#### **I.4.1. définition de traitement thermique d'hypertrempe**

Hypertrempe Traitement qui consiste à chauffer des aciers dit austénitique (cas de certain inox), de maintenir en chauffe et de refroidir plus rapidement qu'à l'air calme par air pulsée, huile ou eau dans le but de produire une micro structure homogène. Il y a donc adoucissement du métal.

#### **I.5.caractéristique fondamentales des aciers**

Le fer métallique existe sous deux formes cristallines:

- Le fer cubique centré, stable au-dessous de 910°C (fer  $\alpha$ ) et au-dessus de 1400 °C (fer  $\delta$ ) ;
- Le fer cubique à face centré, stable entre 910°C et 1400°C (fer  $\gamma$ ). Les solutions solides dans le fer  $\gamma$  sont appelées austénites [21].

La solubilité des éléments d'alliages diffère d'une forme allotropique du fer à une autre. Ceci entraîne l'existence des domaines de transformations très différentes en présence d'éléments d'addition. Dans le fer pur, le passage du fer  $\alpha$  au fer  $\gamma$  se produit à une température bien définie. La présence d'un élément d'addition provoque l'apparition d'un domaine plus ou moins étroit dans lequel les deux variétés allotropiques peuvent coexister en équilibre [21].

Les diagrammes d'équilibre fer carbone permettent de classer les éléments d'addition en deux types :

- Eléments stabilisateurs d'austénite ou gammagène (type A);
- Eléments stabilisateurs de ferrite ou alphagène (type B).

### ➤ Eléments de type A

Dans ce cas l'élément d'addition élargit le domaine de stabilité de l'austénite en abaissant la température de transformation  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  et en élevant la température de transformation  $\gamma \leftrightarrow \delta$ . La région biphasée ( $\gamma + \delta$ ) atteint le domaine de fusion. Le domaine ( $\alpha + \gamma$ ) est déporté vers la température ambiante sous l'action de certains éléments (exemple : Mn, Ni, Co) (voir la Figure 6a) [21].

### ➤ Eléments type B

Les éléments de ce type rétrécissent le domaine de stabilité de la phase  $\gamma$  et, finalement, le suppriment. Le domaine austénitique est entouré d'une région biphasée ( $\alpha + \gamma$ ) ou ( $\delta + \gamma$ ) non coupée par des domaines de stabilité de composés intermétalliques ou de solutions solides dans l'élément d'addition (exemple : Si, Cr, W, Mo, P, V, Ti, Be, Sn, Sb, As, Al (voir la Figure 6b) [21].

Type A= Mn, Ni...

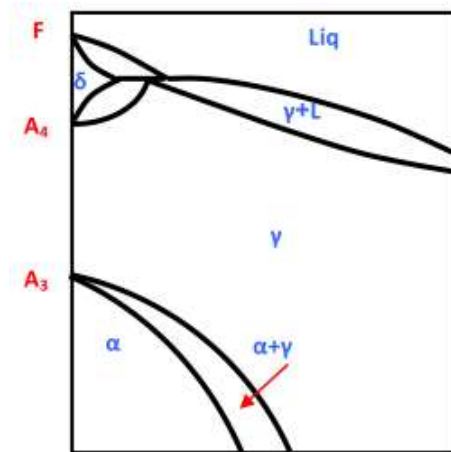


Figure a.

Type B = Cr, Si, Mo...

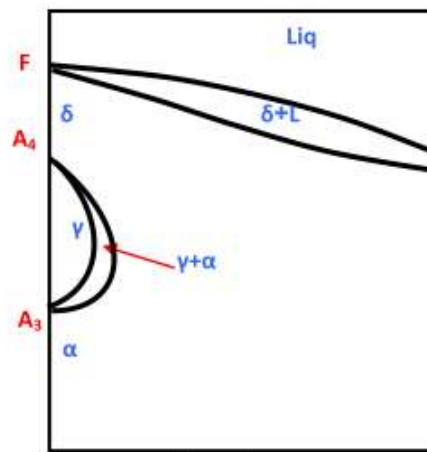


Figure b.

**Figure I.6 :** Influence des éléments gammagène et alphagène sur le diagramme d'équilibre des alliages binaires Fe-C (Fe 3 C) [21].

## I.6. Propriétés des matériaux

### I.6.1. Propriétés physiques

Les propriétés physiques de l'acier Hadfield sont données par le tableau I.4.

Point de fusion (°C)	1350
Masse volumique à 20 °C (kg.m <sup>-3</sup> )	7900
Conductivité thermique à 20 °C (W.m <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> )	0.02
Résistivité électrique à 20 °C (Ω.m) 70	70
Chaleur spécifique à 20 °C (J.kg <sup>-1</sup> )	0.14
Retrait après solidification (mm/m)	25

**Tableau I.4 :** Propriétés physiques de l'acier Hadfield [5].

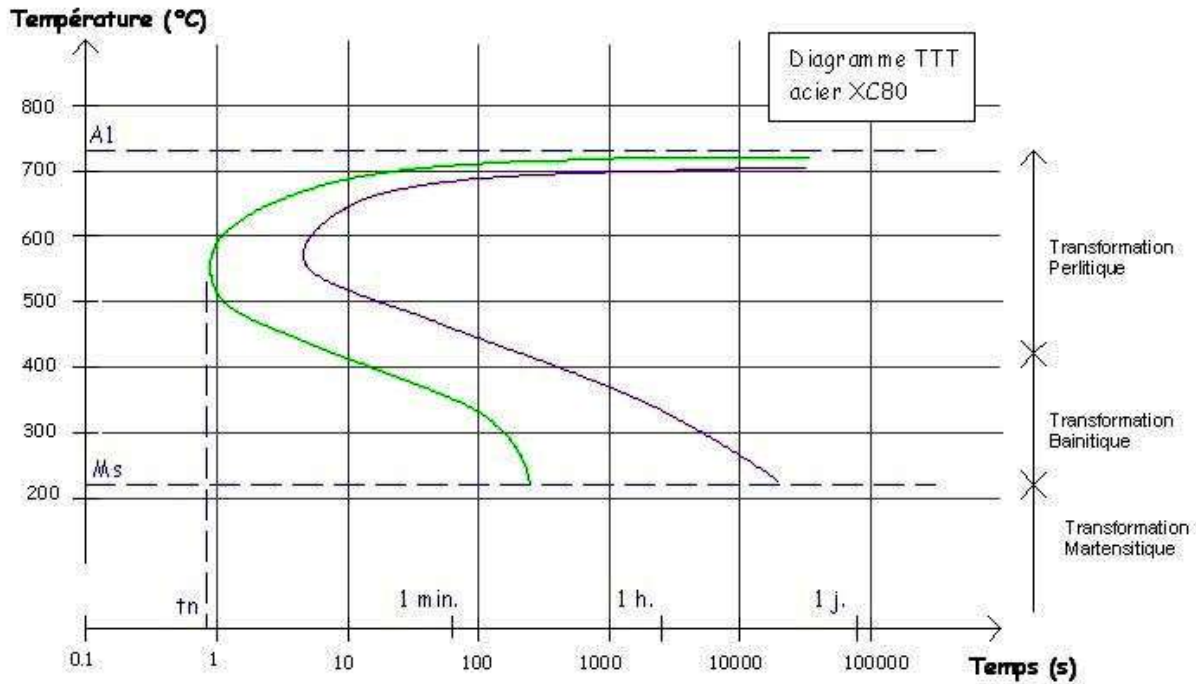
### I.6.2. Propriétés mécaniques

- Parmi les différentes caractéristiques de résistance mécanique, on peut mentionner : la résistance mécanique proprement dite, la dureté, la résilience et la fatigue.
- La résistance mécanique désigne la capacité d'un métal à résister aux sollicitations externes. Selon la nature de ces sollicitations, on distingue la résistance à la traction, à la compression et à la torsion, mesurées par les charges maximales supportées avant rupture du matériau.
- La dureté d'un métal est déterminée par sa capacité à résister à la pénétration d'une bille en acier ou d'un cône.
- La résilience se mesure par la quantité de travail nécessaire pour rompre un échantillon soumis à des chocs.
- La fatigue caractérise la capacité d'un métal à résister aux sollicitations alternées et répétées provenant d'efforts externes, qu'ils soient statiques ou dynamiques [5].

### I.7. Transformations isothermes

Le diagramme d'équilibre présente la composition normale de l'acier, c'est-à-dire la constitution d'équilibre à différentes températures. L'expérience démontre que cette constitution n'est atteinte que si la température évolue suffisamment lentement pour permettre aux transformations de se produire. Dans le cas contraire, les transformations peuvent ne pas se produire du tout ou rester incomplètes. Dans ces deux cas de nouveaux constituants se forment, qui ne sont pas représentés dans le diagramme d'équilibre, correspondant à des états hors équilibre ou trempés [21].

Si un acier à structure austénitique est chauffé à une température supérieure à  $AC_3$  puis refroidi à une température inférieure à  $A_1$ , l'austénite prend un état métastable et subit des transformations. Pour décrire la cinétique de ces transformations, on utilise le diagramme TTT [22].



**Figure I.7 :** le diagramme TTT [2].

Température °C	Transformation		Structure Obtenue	Durée de la Structure finale
	Début	Fin		
700	4,2 min	22 min	Perlite	15
600	1 s	10 s	Perlite	40
500	1 s	10 s	Perlite	44
400	4 s	2 min	Bainite + perlite	43
300	1 min	30 min	Bainite	53
200	15 min	15 h	Bainite	60
100	-	-	Martensite	64
20	-	-	Martensite	60

Le diagramme de transformation isotherme illustre les processus de transformation de l'austénite à différentes températures et durées. Il comporte une période d'incubation à gauche de la courbe, où l'austénite reste en surfusion. La réduction de la température augmente la stabilité de l'austénite. En dessous de 555°C, le diagramme est délimité par le point A1 et le point de martensite MS. Il se divise en trois zones de transformation : perlitique (au-dessus de 550°C), bainitique (entre 550 et 200°C) et martensitique (en dessous de 200°C). Différentes structures peuvent être obtenues à droite de la courbe de droite, avec la zone hachurée représentant la transformation de l'austénite. Les aciers hypereutectoïdes et hypoeutectoïdes présentent des lignes de précipitation différentes. Le chauffage d'un acier au-dessus de A3 produit de l'austénite, qui se transforme en martensite par refroidissement rapide pour obtenir une dureté maximale. Le maintien du bain à une température supérieure à Ar3 permet d'obtenir de l'austénite sans martensite. À une température légèrement supérieure à Ar3, l'austénite se transforme en bainite, offrant une dureté proche de la martensite mais avec une meilleure ténacité. Un maintien court à cette température produit de la martensite avec moins de risques de déformations grâce à l'homogénéisation de la température pendant le refroidissement [22].

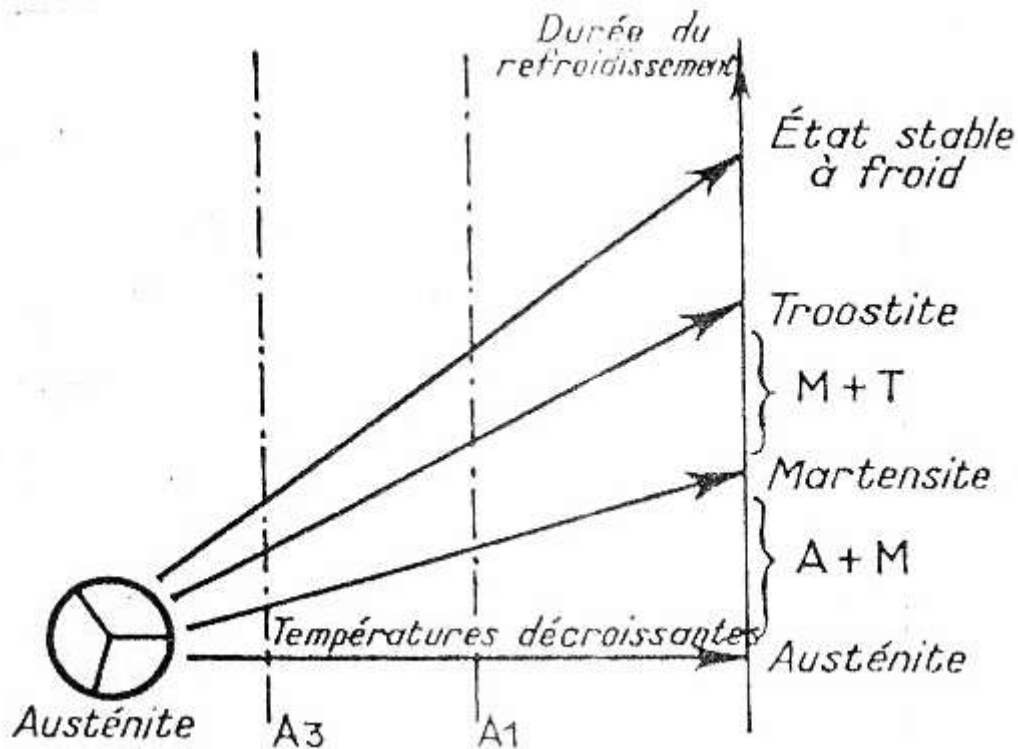
### **I.7.1. Transformation martensitique**

La formation de la cémentite à partir de l'austénite surfondue se produit à des températures inférieures à environ 180°C. Lorsque la température de l'austénite surfondue diminue jusqu'à environ 180°C, voire moins, le processus de diffusion est entièrement interrompu et une transformation sans diffusion, appelée transformation martensitique, se produit [22].

La martensite est une solution solide de carbone dans le fer  $\alpha$ , mais elle est fortement saturée. Son réseau cristallin est considérablement déformé. La transformation martensitique se déroule sans déplacement des atomes de carbone ; seuls les atomes de fer se déplacent sur une distance inférieure à la distance interatomique. Cette transformation se produit très rapidement. Les points de début et de fin de la transformation dépendent du pourcentage de carbone, et à mesure que le pourcentage de carbone augmente, les points Mf (martensite finale) et Ms (martensite initiale) diminuent [22].

La martensite possède une structure très dure, et son durcissement est principalement d'ordre physico-chimique, avec le réseau cristallin du fer  $\alpha$  fortement déformé par la présence des atomes de carbone, ce qui explique sa dureté [21].

Pour des processus de refroidissement continus, les diagrammes TTT ne correspondent pas à cette réalité, mais d'autres types de diagrammes, appelés diagrammes de surfusion, sont utilisés [22].



**Figure I.8 :** l'influence de la vitesse de refroidissement sur les différentes transformations de l'austénite [22].

Lorsque la température du milieu de trempe dépasse le point  $M_f$ , l'austénite ne se transforme pas entièrement en martensite, généralement, une certaine quantité d'austénite résiduelle subsiste. Cette austénite résiduelle est instable et peut se transformer en martensite à des températures plus basses. Cette transformation induit des déformations plastiques, ce qui détériore les propriétés de la structure en réduisant sa dureté (sa résistance à l'usure). À des températures inférieures à  $100^{\circ}\text{C}$ , tant la martensite que l'austénite deviennent très stables, entraînant moins de transformations de structure [22].

Pour des processus de traitement thermique importants, tels que le recuit de normalisation ou la trempe, l'acier est refroidi de manière continue à partir de la plage de température de l'austénite. La trempe peut être réalisée dans divers milieux tels que l'eau, l'huile, un four ou à l'air. Dans ce dernier cas, l'austénite ne se transforme pas à une température constante spécifique, mais la transformation s'étend sur un intervalle de température. En conséquence,

des aciers soumis à un traitement thermique simultané peuvent présenter des structures différentes, telles que la martensite et la bainite, la perlite à côté de la bainite, ou encore la perlite avec de la bainite et de la martensite [22].

### **I.8. Variation de la grosseur du grain d'austénite en fonction de la température**

Lorsque la température dépasse le point A1, des germes d'austénite se forment à l'interface de la ferrite et de la cémentite, et ils se développent jusqu'à ce que toute la structure soit transformée en austénite.

En augmentant la température ou en prolongeant la durée à la température spécifique, une cristallisation est déclenchée, ce qui entraîne une croissance des grains d'austénite. Cette croissance est spontanée car le système tend à réduire l'énergie libre en réduisant la surface des grains. Les gros grains se développent aux dépens des petits grains qui sont thermodynamiquement moins stables.

Les dimensions des grains formés lors du chauffage jusqu'à une température donnée ne changent naturellement pas lors du refroidissement ultérieur. L'aptitude du grain d'austénite à croître varie en fonction des conditions de fusion, même pour les aciers de composition identique. Il existe deux types d'aciers qui dépendent des conditions de fusion [22] :

#### **➤ Acier à grains fins par hérédité**

Même lorsque la température est élevée à 1000 ou 1050°C, la croissance des grains reste insignifiante. Cependant, un chauffage plus poussé entraîne soudainement un grossissement notable des grains.

#### **➤ Acier à gros grains par hérédité**

Dans ce type d'acier, c'est l'inverse, un fort développement du grain s'observe même lorsque l'échauffement dépasse A1, d'une valeur négligeable. Cette aptitude de différence à la croissance du grain est déterminée par le caractère de la désoxydation et par la composition de l'acier.

### **I.9.conclusion**



Dans ce chapitre on a pu connaître les aciers en général (propriétés, les éléments d'addition, diagramme fer-c), l'acier au manganèse Hadfield en particulier (sa composition, son traitement thermique).

**Chapitre II :**

**Matériaux et techniques  
expérimentales**



## **Introduction**

L'objectif de notre travail est d'étudier l'influence de traitement thermique. Le procédé utilisé est un traitement thermique suivis des traitements de revenu.

Le matériau utilisé est l'acier allié à 12% de manganèse.

Nous avons ensuite réalisé une caractérisation microstructurale et structurale en utilisant la microscopie optique (MO) et la diffraction des rayons X (DRX). Une caractérisation mécanique, basée sur des essais de dureté, a également été effectuée. Il est à noter que tous les essais ont été réalisés sur des échantillons à l'état brut ainsi que sur ceux traités à différentes températures.

## **II.1. Matériaux utilisés**

### **II.1.1. la composition chimique du matériau utilisé**

Dans ce mémoire, nous avons utilisé un acier allié au manganèse de la nuance X120Mn12. La composition chimique de ce matériau est détaillée dans le tableau II.1 ci-dessous.

Eléments	C	Mn	Pb	Mo	Cr	Fe
%Massiques	1,1-1,3	11	0,1 max	0,1 max	2.33 max	Bal

**Tableau II.1 :** Composition chimique de l'acier.

### **II.1.2. Elaboration des échantillons**

Des plaques brutes de forme parallélépipédique nous ont été fournies par la fonderie. Nous avons ensuite découpé ces plaques à l'aide d'une scie abrasive disponible dans le hall de technologie de l'université de Bejaïa, afin d'obtenir des échantillons de petite taille, plus facile

à usiner, tout en évitant les zones de délamination sur nos plaques de manganèse. Ces échantillons ont été préparés pour fabriquer des éprouvettes normalisées de résilience ainsi que des échantillons témoins pour les traitements thermiques. (Figure II.1).



**Figure II.1:** Macro Scie disponible au niveau du hall de technologie du département génie mécanique.

### II.2. Traitements thermiques

Dans le cadre de ce projet, les traitements thermiques ont été exécutés dans les installations de pointe du département de génie mécanique, en utilisant un four électrique spécialisé, tel que représenté dans la figure II.2. Quatre échantillons ont été soumis à un traitement thermique initial à une température d'austénitisation de  $1050^{\circ}\text{C}$ , avec une durée de maintien de 30 minutes, suivis d'une trempe dans deux cas dans de l'eau et dans deux autres dans de l'eau glacée. Ensuite, les quatre échantillons ont été soumis à un traitement thermique supplémentaire à une température d'austénitisation de  $400^{\circ}\text{C}$ , avec une durée de maintien de 45 minutes, suivis d'un refroidissement à l'air pour les échantillons témoins (processus de revenu).



**Figure II.2 :** Four électrique disponible au laboratoire Fonderie du département génie mécanique au niveau du hall de technologie.

### **II.3. Le polissage**

Les échantillons traités ont subi une préparation de surface par polissage mécanique, en utilisant des papiers abrasifs de granulométries décroissantes allant de 400 à 2000, à l'aide de la polisseuse illustrée à la figure II.3



**Figure II.3:** Appareille de polissage

## II.4. Méthodes de caractérisation

### II.4.1. Analyse par diffraction des rayons X

Pour caractériser les phases présentes dans nos échantillons, nous avons recouru à une analyse par diffraction des rayons X. Cette méthode a été réalisée en utilisant un diffractomètre Rigaku. Nos spectres de diffraction ont été capturés sur un intervalle de balayage de  $0^\circ$  à  $120^\circ$ , englobant ainsi les pics les plus intenses des éventuelles phases présentes.

Le principe de fonctionnement du diffractomètre repose sur l'interaction des rayons X avec la structure cristalline de l'échantillon. Ce dernier est positionné dans un porte-échantillon, tandis qu'un faisceau de rayons X incidents provenant du tube à rayons X l'irradie. Après diffraction, ces rayons sont détectés par un détecteur, généralement disposé à un angle de  $2\theta$  autour de l'échantillon. En accord avec la loi de Bragg, où la distance réticulaire, l'angle de diffraction et la longueur d'onde du rayonnement sont les paramètres clés.

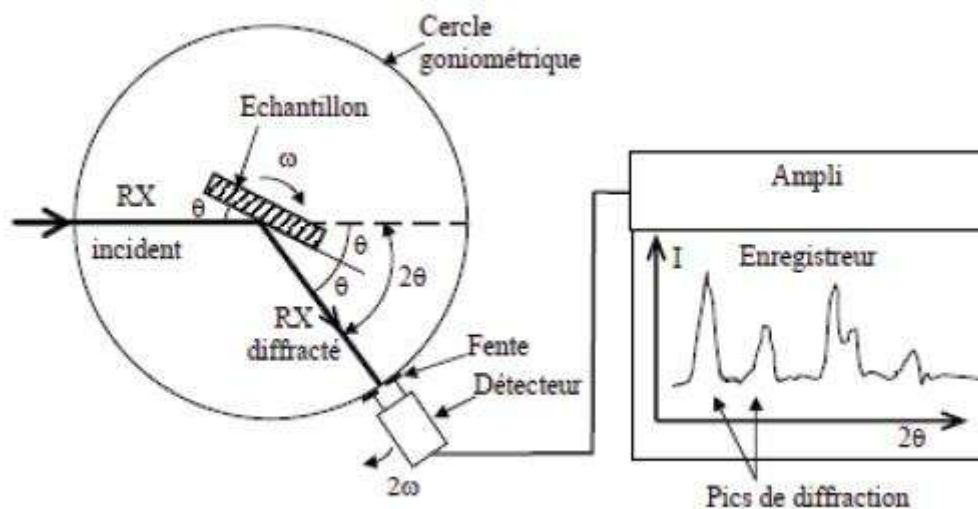


Figure II.4 : Principe d'une diffraction des RX

### II.4.2. Microscope optique

La méthodologie pour tester des échantillons métallographiques à l'aide d'un microscope optique implique d'abord la préparation des échantillons par des techniques telles que le sectionnement, le meulage, le polissage et l'attaque chimique. Ensuite, les échantillons sont examinés sous le microscope optique après calibrage et réglages appropriés pour visualiser

clairement les microstructures internes, incluant les phases, grains, inclusions et défauts. Les observations sont consignées avec précision, souvent sous forme de photographies, et ensuite analysées pour interpréter la composition, la structure et les propriétés du matériau. Les résultats sont présentés dans un rapport détaillé, pouvant être partagés lors de réunions scientifiques ou dans des publications spécialisées pour contribuer au corpus de connaissances dans le domaine de la métallographie et des sciences des matériaux. (Figure II.5).



**Figure II.5 :** microscope optique

### **II.4.3. Essai de dureté (Rockwell)**

#### **➤ Définition**

La dureté, de symbole général H (de l'anglais -hardness), est une propriété mécanique qui exprime la résistance d'un matériau soumis à une déformation plastique localisée (petites indentation ou rayure).

Beaucoup de méthodes servent à l'évaluation de la dureté ; les plus courantes consistent à mesurer la résistance à la pénétration.

#### **➤ Principe de l'essai**

Un pénétrateur, de formes différentes suffisamment dures pour ne pas être déformé par le matériau à essayer entre de force dans la surface de la pièce, les conditions de charge et de vitesse d'application étant contrôlées. La profondeur ou dimension de l'empreinte (indentation) résultante est mesurée et rapportée à un nombre de dureté. Plus le matériau est mou, plus l'empreinte est grande et profonde et plus le nombre d'indexation de la dureté est petit.

Les essais de dureté sont relativement économiques pour les raisons suivantes :



L'appareillage de l'essai est relativement peu cher ; il n'est pas nécessaire d'utiliser une éprouvette spéciale ; l'essai est non destructif- la déformation de l'éprouvette n'est qu'une simple indentation.

➤ **Machine d'essais**

La machine d'essais de dureté présente au laboratoire, permettant de faire les trois types d'essais, est WOLPERT-TESTOR ; figure II.6



**Figure II.6 :** Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell.

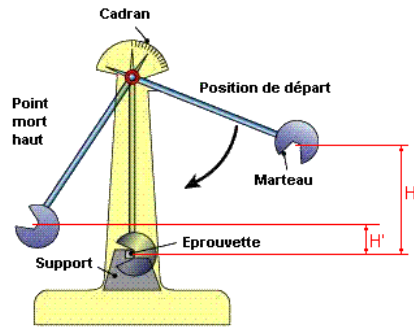
#### **II.4.4.Essai de résilience (Charpy)**

➤ **But de l'essai**

Les essais de résilience permettent de caractériser la fragilisation d'un matériau. Ils consistent à rompre une éprouvette entaillée (l'entaille a pour but de fragiliser le matériau) éprouvette Charpy - sous l'impact d'un "mouton-pendule". On mesure l'énergie absorbée par la rupture, ce qui permet de remonter à la résilience du matériau (énergie absorbée ramenée à la surface (joule/cm<sup>2</sup>)).

➤ **Mouton Charpy**

Le mouton Charpy est constitué d'un couteau fixé sur un marteau qui oscille dans un plan vertical autour d'un axe (fig.II.7). Pour un essai, le couteau est amené à une hauteur  $H$  qui correspond à l'énergie de départ  $W_h = m g h$ . Dans sa chute, le couteau va provoquer la Rupture de l'éprouvette qui sera accompagnée d'une absorption d'énergie  $KV$ , et le marteau remontera à une hauteur  $H'$  à laquelle est associée une énergie potentielle  $W_h' = m g h'$ . Il vient alors simplement  $KV = W_h - W_h'$ . Plus  $H'$ , la hauteur de remontée est faible, plus le matériau est résilient.



Pendule de Charpy

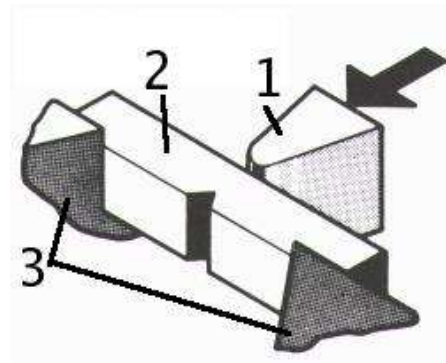


schéma de fonctionnement

1 : couteau ; 2 : éprouvette ; 3 : appuis

**Figure II.7.** Pendule de Charpy

### ➤ Les éprouvettes

Une éprouvette Charpy est un barreau de section  $10 \times 10$  mm entaillée en son milieu et dont la longueur est de 55 mm. L'entaille a une forme de cavité.

# **Chapitre III :**

## **Résultats et discussion**



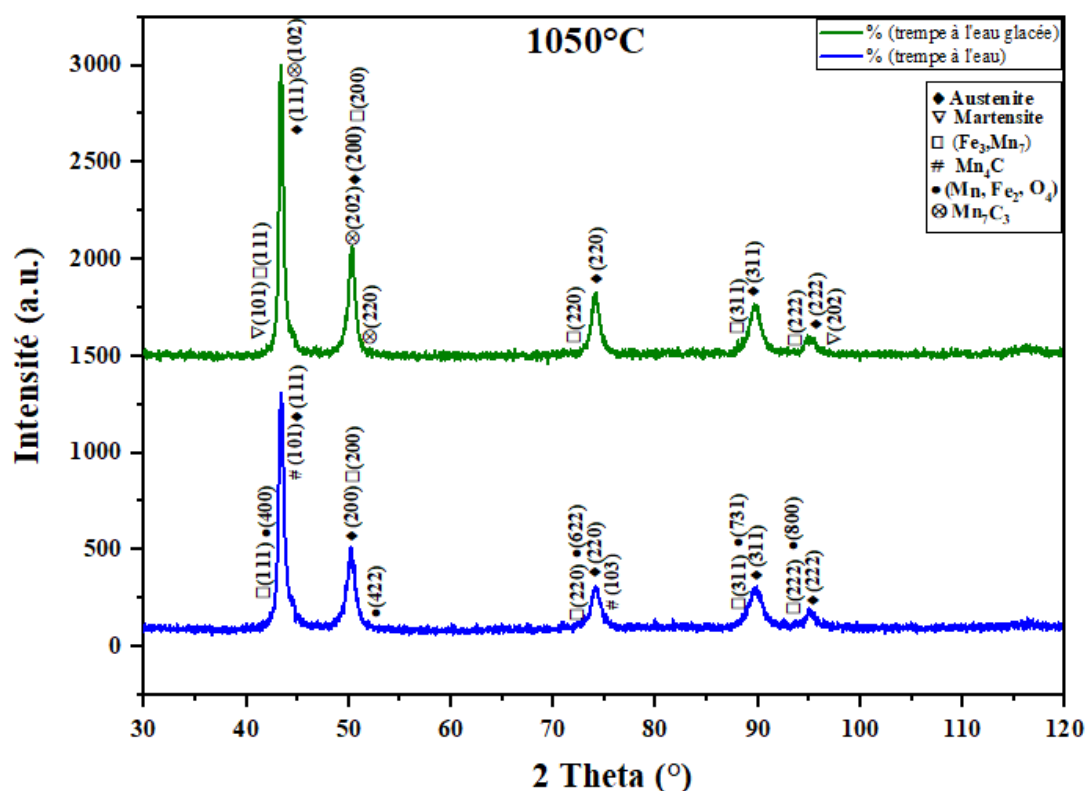
## Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats obtenus suite au traitement thermique appliqué à nos échantillons à différentes températures d'austénitisation, ainsi que l'impact des milieux de refroidissement (eau et eau glacée) sur les propriétés microstructurales et mécaniques, notamment la dureté, mesurée par des essais de dureté Rockwell.

### III.1. caractérisation par diffraction des rayons x d'acier manganèse 12 %

#### III.1.1. Analyses structurales par la diffraction X

La figure III.1 représente les différents spectres des échantillons traités suivis d'une trempe à l'eau et l'eau glacée.

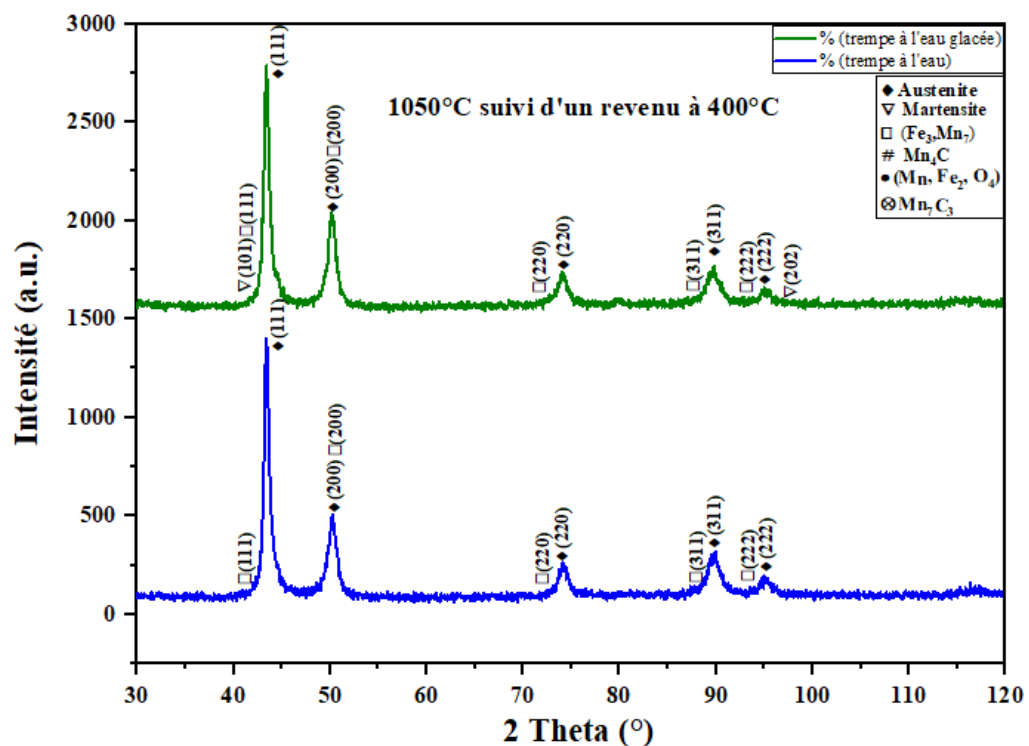


**Figure III.1 :** Spectres de diffraction X des différents échantillons, à une température 1050°C.

La trempe à l'eau glacée (courbe verte) et la trempe à l'eau (courbe bleue) présentent des différences significatives dans leurs effets sur la microstructure des métaux. Lors de la trempe à l'eau glacée, la vitesse de refroidissement extrêmement rapide favorise la rétention de l'austénite, comme en témoignent les pics d'austénite plus intenses et dominants sur la courbe. Cela montre une stabilisation de cette phase à température ambiante. En revanche, les pics de martensite et de carbures sont moins marqués, indiquant une transformation réduite des phases métallurgiques.

D'autre part, la trempe à l'eau, avec un refroidissement plus lent, permet une transformation plus importante de l'austénite en martensite et en autres phases secondaires. Les pics de martensite et de carbures sont ainsi plus prononcés sur le spectre bleu, ce qui indique que la phase austénitique a été en grande partie transformée. De plus, la diversité des pics liés aux carbures et oxydes reflète une microstructure plus complexe, comprenant plusieurs phases secondaires, montrant une variété de transformations métallurgiques qui résultent en une structure plus hétérogène.

La figure III.2 représente les différents spectres des échantillons traités suivis d'un revenu à 400° C



**Figure III.2 :** Spectres de diffraction X des différents échantillons à 1050°C suivi d'un revenu à 400°C.

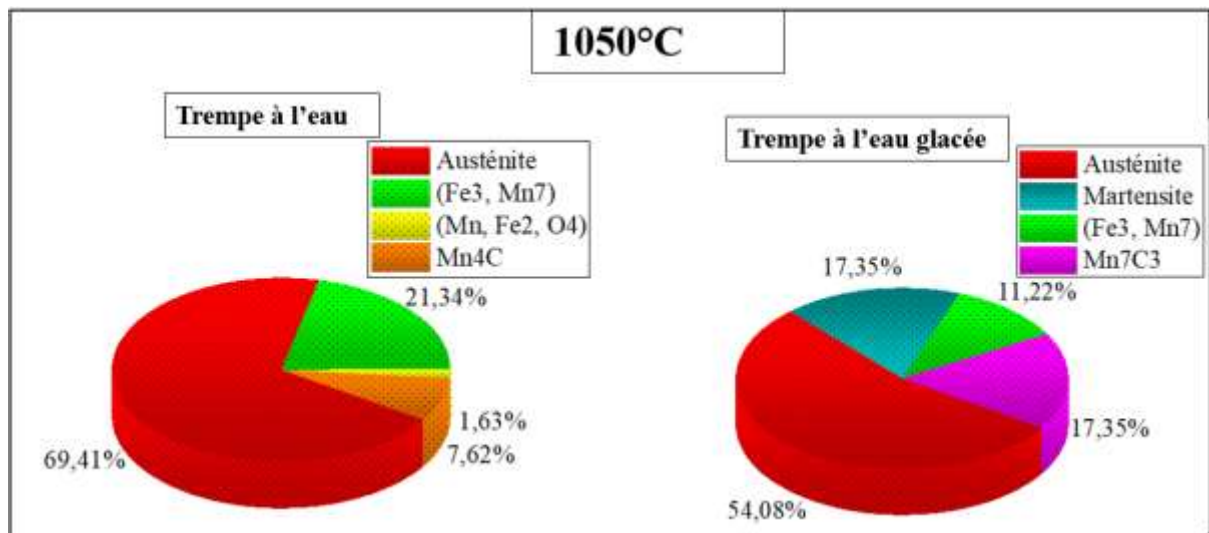
L'analyse des phases et des intensités des pics de diffraction révèle des différences significatives entre les échantillons trempés à l'eau glacée et à l'eau simple. Les pics d'austénite sont nettement plus intenses dans l'échantillon trempé à l'eau glacée, ce qui suggère une stabilisation accrue de cette phase due à un refroidissement rapide. En comparaison, dans l'échantillon trempé à l'eau, l'austénite se transforme partiellement en martensite ou en d'autres phases, ce qui se traduit par des pics moins intenses pour cette phase.

En ce qui concerne la martensite, les pics, tels que celui à  $2\theta \approx 64^\circ$ , sont plus marqués dans l'échantillon trempé à l'eau. Cela indique une transformation martensitique plus substantielle par rapport à l'échantillon trempé à l'eau glacée. Les pics associés aux carbures ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\text{Mn}_3\text{C}$ ) sont présents dans les deux échantillons, bien que leur intensité varie légèrement. Cette variation suggère que les traitements thermiques et les conditions de refroidissement affectent également la formation et la quantité de ces phases.

L'analyse des effets du traitement thermique montre que la trempe à l'eau glacée, avec son refroidissement rapide, favorise la stabilisation de l'austénite et limite la transformation en martensite, comme le confirme la forte intensité des pics d'austénite. En revanche, la trempe à l'eau, avec un refroidissement plus lent, permet une transformation plus complète de l'austénite en martensite. Cette observation est corroborée par une intensité plus faible des pics d'austénite et une présence notable de pics de martensite.

### **III.1.2. Quantification des phases par diffraction x**

La figure III.3 montre des diagrammes circulaires illustrant la composition de phases d'un alliage après un traitement thermique à  $1050^\circ\text{C}$  suivi de deux méthodes de trempe : trempe à l'eau et trempe à l'eau glacée.



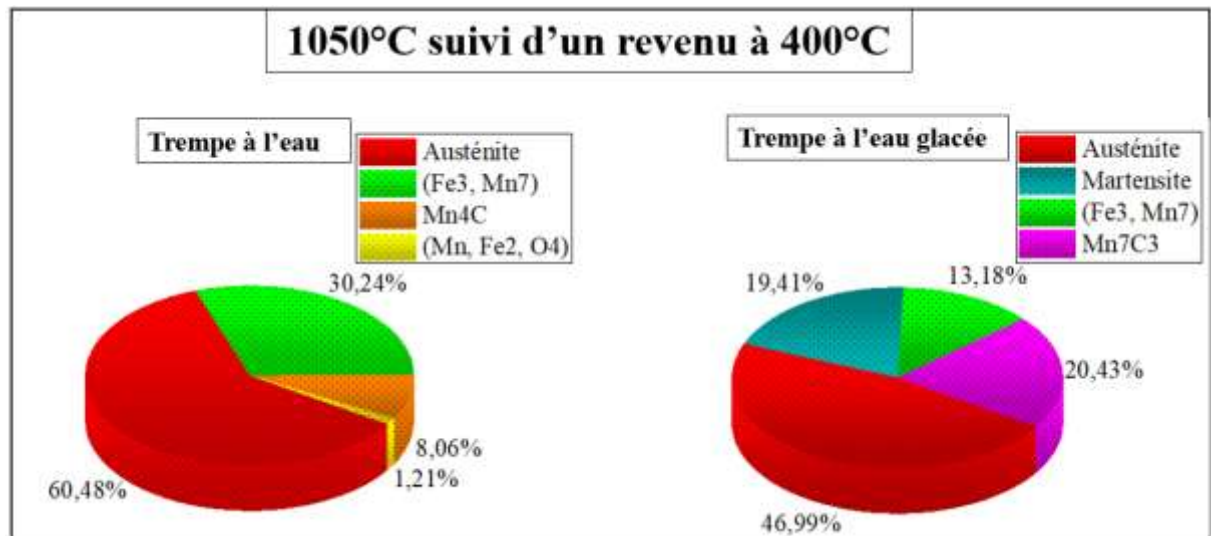
**Figure III.3 :** diagrammes circulaires illustrant la composition de phases d'un alliage après un traitement thermique à 1050°C

Pour la trempe à l'eau, la phase dominante est l'austénite, représentant 69,41% de la composition. L'austénite, stable à haute température, conserve sa prédominance en raison du refroidissement relativement lent qui ne favorise pas une transformation majeure en d'autres phases. Un composé de fer et de manganèse (Fe<sub>3</sub>, Mn<sub>7</sub>) constitue 21,34% de l'alliage, ce qui indique une transformation partielle mais non dominante de l'austénite. La présence de 7,62% de carbures de manganèse (Mn<sub>4</sub>C) suggère une précipitation du carbone sous forme de carbures, augmentant ainsi la dureté de l'alliage. Enfin, 1,63% de la composition est constituée de (Mn, Fe<sub>2</sub>, O<sub>4</sub>), probablement un oxyde, résultant d'une légère oxydation lors du traitement thermique ou de la trempe.

En ce qui concerne la trempe à l'eau glacée, la proportion d'austénite est réduite à 54,08%, indiquant que cette méthode favorise une transformation plus importante de l'austénite en d'autres phases. La présence de 17,35% de martensite montre que la trempe à l'eau glacée est plus efficace pour durcir l'alliage en transformant rapidement l'austénite en une phase plus dure. La proportion de (Fe<sub>3</sub>, Mn<sub>7</sub>) reste similaire à celle de la trempe à l'eau, à 17,35%, suggérant une stabilité relative de cette phase dans les deux méthodes de trempe, bien que la transformation en martensite soit plus significative ici. La proportion accrue de carbures de manganèse (Mn<sub>7</sub>C<sub>3</sub>), atteignant 11,22%, indique une meilleure précipitation du carbone avec la trempe à l'eau glacée, ce qui contribue à une microstructure plus dure et plus résistante.



La figure III.4 montre deux diagrammes circulaires comparant les compositions en phases d'un alliage après un traitement thermique à 1050°C suivi d'un revenu à 400°C, avec deux méthodes de trempe différentes : trempe à l'eau et trempe à l'eau glacée.

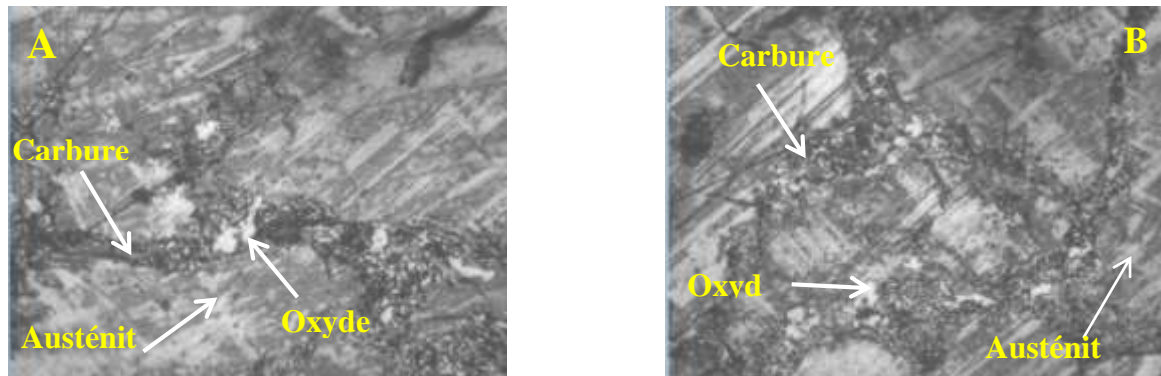


**Figure III.4 :** diagramme circulaire comparant la composition de phases d'un alliage Après un traitement thermique à 1050°C suivi d'un revenu à 400°C.

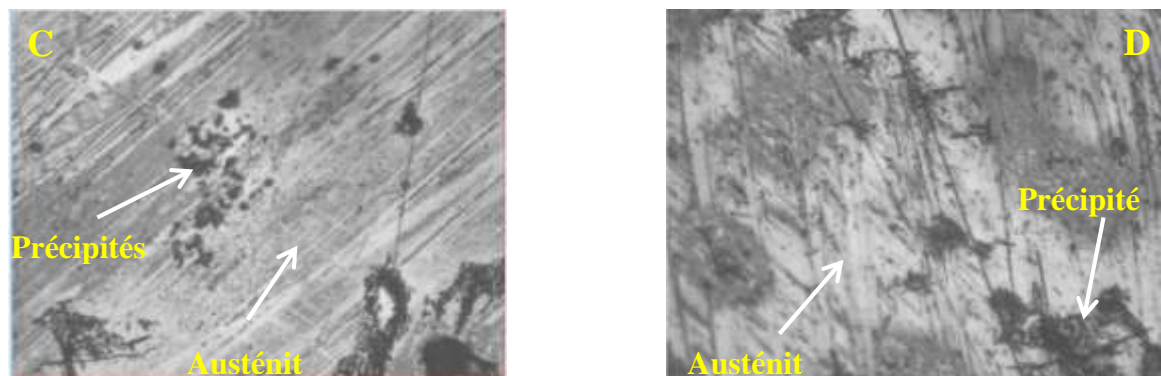
La figure III.4 compare les compositions en phases d'un alliage traité à 1050°C et revenu à 400°C, avec deux méthodes de trempe : trempe à l'eau et trempe à l'eau glacée. Pour la trempe à l'eau, l'austénite demeure majoritaire avec 60,48%, bien que sa proportion ait légèrement diminué par rapport à un traitement similaire sans revenu, indiquant une certaine transformation. La présence de la phase (Fe<sub>3</sub>, Mn<sub>7</sub>) est significative à 30,24%, montrant une transformation notable de l'austénite. Les carbures de manganèse (Mn<sub>4</sub>C) représentent 8,06%, suggérant une précipitation importante du carbone, et une faible proportion de (Mn, Fe<sub>2</sub>, O<sub>4</sub>) à 1,21% pourrait indiquer une légère oxydation.

En revanche, pour la trempe à l'eau glacée, l'austénite est moins prédominante avec 46,99%, soulignant une transformation plus importante vers d'autres phases. La martensite représente 19,41%, démontrant que la trempe rapide favorise la formation de cette phase dure. La phase (Fe<sub>3</sub>, Mn<sub>7</sub>) est à 20,43%, indiquant une certaine stabilité, tandis que les carbures de manganèse (Mn<sub>7</sub>C<sub>3</sub>) à 13,18% montrent une précipitation accrue du carbone, contribuant à la dureté et à la complexité microstructurale. Ces différences soulignent comment le type de trempe et le revenu influencent les phases finales et les propriétés mécaniques de l'acier.

## III.2.Caractérisation microstructural au microscope optique



**Figure III.5 :** Microstructures des différents échantillons traités à 1050°C A) refroidis à l'eau et B) refroidis à l'eau glacée.

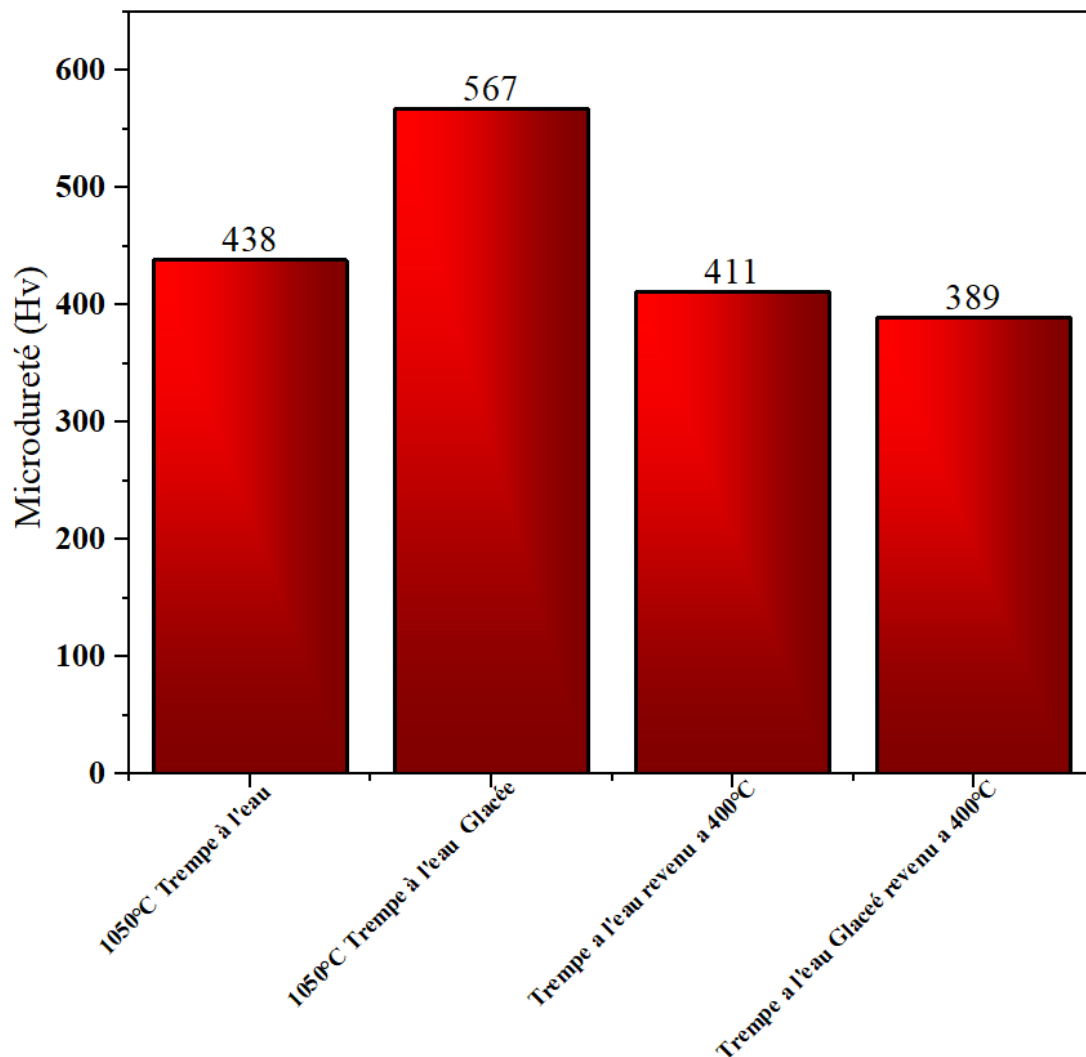


**Figure III.6 :** Microstructures des différents échantillons traités à 1050°C suivi d'un revenu à 400°C, C) 1050°C trempe a l'eau Glacée revenu 400°C et D) 1050°C trempe a l'eau revenu 400°C

### III.3. influence de la microstructure de l'acier manganèse sur le comportement mécanique

#### III.3.1. Microdureté Vickers

La figure III.7 présente un graphique illustrant les microduretés (en HV) de différents traitements thermiques d'un matériau, probablement de l'acier, souvent mesurées pour évaluer les propriétés mécaniques après divers processus de durcissement.



**Figure III.7 :** microdureté des différents échantillons

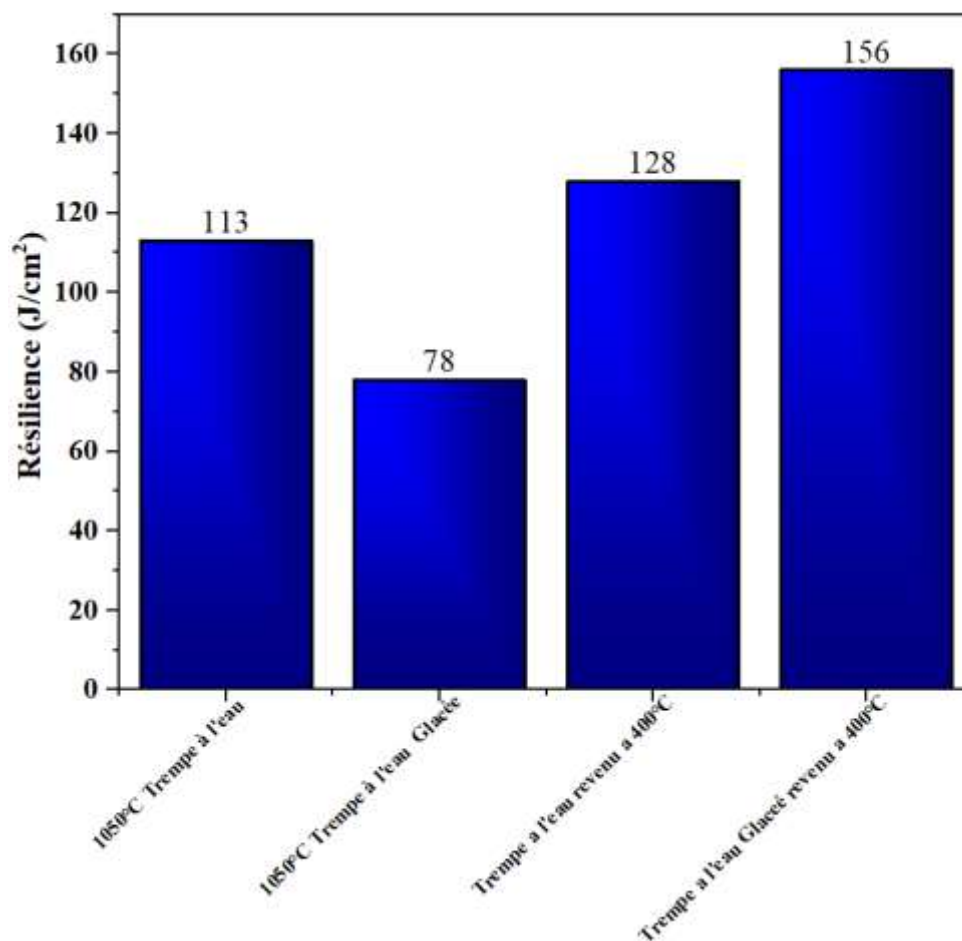
Le graphique montre que la microdureté maximale est atteinte avec le traitement 1050°C Trempe à l'eau Glacée (567 HV), ce qui indique une structure plus dure et probablement plus martensitique. Ce résultat est logique car la trempe à l'eau glacée conduit à un refroidissement rapide, favorisant ainsi la formation de martensite, une phase de l'acier très dure.

En revanche, la trempe à 1050°C suivie d'un revenu à 400°C réduit la microdureté (411 HV pour la trempe à l'eau et 389 HV pour la trempe à l'eau glacée). Le revenu à 400°C permet de réduire les tensions internes et d'augmenter la ductilité tout en diminuant la dureté globale par la transformation partielle de la martensite en structure moins dure, telle que la ferrite ou la bainite.

Le traitement 1050°C Trempe à l'eau montre une microdureté de 438 HV, qui est inférieure à celle de la trempe glacée mais supérieure à celle des traitements avec revenu. Ce résultat est attendu, car le refroidissement rapide dans l'eau favorise la formation de martensite, mais à un degré moindre comparé à l'eau glacée.

### III.3.2.essai de résilience

La figure III.8 présente un graphique représentant la résilience en ( $\text{J}/\text{cm}^2$ ) de différents traitements thermiques appliqués à un matériau, probablement de l'acier, mesurant la capacité de ce matériau à absorber l'énergie d'un impact avant de se fracturer.



**Figure III.8 :** La résilience des différents échantillons

Ce graphique met en évidence que la résilience la plus faible est obtenue avec le traitement 1050°C

Trempe à l'eau Glacée (78 J/cm<sup>2</sup>), ce qui indique une capacité réduite du matériau à absorber l'énergie sans se fracturer. Cette observation est cohérente avec la formation de martensite par trempe glacée, une phase très dure mais également plus fragile et moins ductile, diminuant la résilience.

En revanche, les traitements suivis d'un revenu à 400°C montrent une résilience significativement plus élevée. Le traitement Trempe à l'eau revenu à 400°C atteint une résilience de 128 J/cm<sup>2</sup>, et Trempe à l'eau Glacée revenu à 400°C montre la résilience maximale de 156 J/cm<sup>2</sup>. Le revenu à 400°C adoucit la structure en transformant partiellement la martensite dure en phases plus ductiles comme la bainite ou la ferrite, augmentant ainsi la capacité du matériau à absorber l'énergie des impacts sans se fracturer.

Le traitement 1050°C Trempe à l'eau présente une résilience de 113 J/cm<sup>2</sup>, supérieure à celle de la trempe glacée mais inférieure aux traitements avec revenu. Ceci s'explique par la formation de martensite moins dure que celle obtenue trempe glacée, conférant au matériau une meilleure résilience tout en conservant une bonne dureté.

## **Conclusion**

Les analyses montrent que les traitements thermiques et les conditions de refroidissement influencent fortement les propriétés de l'acier au manganèse. La trempe à l'eau glacée stabilise l'austénite, créant une microstructure plus dure mais fragile, tandis que la trempe à l'eau entraîne une transformation plus complète en martensite, produisant une structure plus complexe. Le revenu à 400°C adoucit la structure, réduisant la dureté mais augmentant la résilience, ce qui améliore la capacité d'absorption des impacts.



# **Conclusion générale**





# Conclusion générale

---

## Cocnclusion générale

Les aciers au manganèse de nuances traitées possèdent une structure austénitique. Leur fragilité est due à la forte présence de carbures de manganèse et de chrome dans les joints de grains. Par conséquent, ces aciers ne peuvent pas être utilisés directement à l'état brut de coulée.

Notre étude nous a permis d'observer et de suivre l'influence d'un traitement thermique sur le comportement de cet acier. A travers le traitement thermique, l'analyse par diffraction X, l'essai de dureté et de résilience, nous concluons que :

- La température d'austénitisation influe sur les propriétés mécaniques de l'acier étudié
- La vitesse de refroidissement influe également sur les propriétés mécaniques de cet acier.
- Avec une température d'austénitisation de 1050°C et une trempe à l'eau à température ambiante nous avons obtenu un matériau avec des caractéristiques d'un ordre optimales.

Cette étude nous a permis de mieux comprendre les aciers au manganèse, leurs domaines d'utilisation, ainsi que le protocole expérimental à suivre.

## Perspectives et recommandations

Les perspectives futures pourraient inclure :

- La mise en œuvre du protocole expérimental pour les divers types d'aciers au manganèse.
- L'application de traitements thermiques avec différents milieux de refroidissement.

## Conclusion générale

---

# **Références bibliographique**



# Références bibliographiques

- [1] : ZIOUAL Sara « Influence des traitements thermiques sur les propriétés mécanique d'un acier au manganèse », mémoire de Master, Université Abderrahmane MIRA BEJAIA 2019.
- [2] : Ourti Abderrahmane Et Fengal Massinissa « Influence de l'effet de traitement de revenus sur les propriétés de dureté-résilience de deux nuances d'acier 25CD4 et 23CD4 », mémoire de master de l'Université A-MIRA Bejaïa, 2018/2019.
- [3] : MAZOUZI AIMEN « caractérisation mécanique d'un acier a50 pour la Fabrication De l'anneau d'attelage A Ferroviaal », projet de fin d'étude de master d'Université Badji Mokhtar Annaba 2016.
- [4] : Saker Akram, «Etude des causes de dégradation prématurée d'un marteau de concassage fabriqué en acier riche en chrome», Mémoire de Master de l'Université badji mokhtar- annaba 2021/2022.
- [5] : Maalem Katia et Saib Lynda, « Etude bibliographique sur les aciers au manganèse destinés à la fabrication des mâchoires pour concasseurs. », Projet de fin d'étude de l'Université A-MIRA Bejaïa ,2019/2020.
- [6] : Dr. Soualmi Saida, « Métaux Et Céramiques », Université Ibn Khaldoun – TIARET, 2021/2022
- [7] : GUY MURRY, «Centre français d'exploitation. Technique de l'ingénieur». Edition (2002), p.M1 115.
- [8] : Maouche Hichem, « Développement De Nuances D'acier Au Manganèse Allie Destine A L'usure », Thèse de l'université Badji Mokhtar- Annaba, 2017.
- [9] : M. Massin, Métallurgie Pratique pour Mécaniciens, tome 1, Pyc édition 1982.
- [10] : Guy Murry, Traitements thermiques dans la masse des aciers. Partie 1, Techniques de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques M 1 126, Centre français d'exploitation 2002
- [11] : AOUI Belkacem. Comportement à la fatigue d'un acier au carbone après traitement thermique, mémoire de Master. 2017. Université Mohamed BOUDHIAF M'SILA.

## Références bibliographique

---

- [12] : behlouli hamza, «caractérisation des couches de diffusion d'un acier inoxydable 17-7Ph (cémentation et nitruration) », Mémoire de Fin d'Études de l'université blida 1 ,2013/2014.
- [13] : AMY, Z. (2013). Caractérisation de l'acier inoxydable X5CrNi18-10 et étude de son oxydation à température. Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.
- [14] :[https://www.researchgate.net/publication/233038215\\_Microstructural\\_characteristics\\_of\\_Hadfield\\_steel\\_solidified\\_under\\_high\\_pressure](https://www.researchgate.net/publication/233038215_Microstructural_characteristics_of_Hadfield_steel_solidified_under_high_pressure).
- [15] : Haddouche Kawther, « La caractérisation d'un acier inoxydable duplex », mémoire de master de l'Université 8 mai 1945 Guelma, 2019.
- [16] : BOUDIAF, A. (2011). Relation microstructure - comportement macroscopique dans les aciers : effet de la taille de grain austénitique sur la plasticité de transformation. Thèse de doctorat, INSA de Rouen, France.
- [17] : Ridha Harzallah « étude du comportement mécanique et tribologique des aciers austénitiques au manganèse : application aux cœurs de voies ferroviaires », t h è s e l'école nationale supérieure des mines de paris, 05 Novembre 2010.
- [18] : Malkiewicz, T. (1976). Metal science. Warszawa-Kraków: PWN. (In Polish).
- [19] : Maouche Hichem, « Développement De Nuances D'acier Au Manganèse Allie Destine A L'usure », Thèse de l'université Badji Mokhtar- Annaba, 2017.
- [20] : OUSSADANE, N. (2014). Etude de l'influence des traitements thermique sur la résistance à l'usure des aciers a outils de type X155CrVMo12.1. Mémoire master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [21] : Cherifi Naima et BESSAH Chafia, «influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques d'un acier á outils pour travail á chaud (x38crmov5-1) », Mémoire de Fin d'Études de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015/2016.
- [22] : SAID BENSAADA, « traitements thermiques, classification et désignation des aciers et fontes », date de consultation : 16/4/2020 (8h.37min).



## Résumé :

Ce mémoire se focalise sur l'adaptation d'aciers à diverses applications industrielles par le biais de traitements thermiques et mécaniques. L'étude comprend une analyse microstructurale détaillée, suivie d'une exploration des effets des traitements thermiques, notamment l'austénitisation, sur quatre échantillons à 1050 °C. Dans le but d'assurer une meilleure durabilité et résistance à l'usure, des traitements thermiques d'austénitisation ont été effectués sur nos échantillons.

Une caractérisation microstructurale et structurale a été réalisée à l'aide de la microscopie optique (MO) et de la diffraction des rayons X (DRX). Parallèlement, une caractérisation mécanique a été effectuée, comprenant des essais de dureté et des tests de résilience.

Les résultats ont révélé l'influence des traitements thermiques sur la résistance aux chocs, la dureté, et particulièrement sur la structure des phases. Il a été constaté que des valeurs et des phases différentes sont obtenues avant et après le traitement thermique.

**Mot clé:** Acier, gamme de traitement thermique, Micros structure, essai mécanique

## ملخص

تركز هذه الأطروحة على تكيف الفولاذ لمختلف التطبيقات الصناعية من خلال المعالجات الحرارية والميكانيكية. تتضمن الدراسة تحليلاً دقيقاً للبنية المجهرية، يتبعه استكشاف تأثيرات المعالجات الحرارية، ولا سيما الأوستنيتية، على أربع عينات عند درجة حرارة 1050 درجة مئوية. من أجل ضمان أفضل المتانة ومقاومة التآكل، تم إجراء المعالجات الحرارية الأوستنيتية على عيناتنا.

تحقق توصيف هيكلي دقيق باستخدام المجهر الضوئي (MO) والحياد (DRX). تم أيضاً تحديد الخصائص الميكانيكية بناءً على محاولات الصلابة وعلى محاولات قوة التأثير. أظهرت النتائج تأثير المعالجات الحرارية على مقاومة الصدمات والصلابة وخاصة على بنية الطور. وقد وجد أنه يتم الحصول على قيم ومراحل مختلفة قبل وبعد المعالجة الحرارية.

**الكلمات المفتاحية:** الصلب، نطاق المعالجة الحرارية، التركيب الميكروي، الاختبار الميكانيكي

## Abstract

This dissertation focuses on the adaptation of steels to various industrial applications through thermal and mechanical treatments. The study includes a detailed microstructural analysis, followed by an exploration of the effects of heat treatments, notably austenitization, on four samples at 1050 °C. In order to ensure better durability and wear resistance, austenitization heat treatments were

carried out on our samples.

Microstructural and structural characterization was performed using the optical microscope (OM) and X-ray diffraction (XRD). Mechanical characterisation based on hardness tests and resiliency tests was also carried out.

The results revealed the influence of heat treatments on impact resistance, hardness, and particularly on phase structure. It was found that different values and phases are obtained before and after heat treatment.

**Key word:** steel, heat treatment, mechanical properties, microstructure